



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE  
NACIONAL**

**SULIVAN AUGUSTO BISCASSI**

**ENSINO E APRENDIZAGEM DE ISOMERIA ÓPTICA COM USO DE  
POLARÍMETRO ALTERNATIVO NA PERSPECTIVA DA EXPERIMENTAÇÃO  
INVESTIGATIVA**



**UBERABA – MG  
2025**

**SULIVAN AUGUSTO BISCASSI**

**ENSINO E APRENDIZAGEM DE ISOMERIA ÓPTICA COM USO DE  
POLARÍMETRO ALTERNATIVO NA PERSPECTIVA DA EXPERIMENTAÇÃO  
INVESTIGATIVA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

**Linha de pesquisa:** LP3 – Química da Vida

**Orientador:** Prof.º Dr. Alexandre Rossi

**Coorientador:** Prof.º Dr. Evandro Roberto Alves

**UBERABA – MG  
2025**

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

B526e	<p>Biscassi, Sullivan Augusto Ensino e aprendizagem de isomeria óptica com uso de polarímetro alternativo na perspectiva da experimentação investigativa / Sullivan Augusto Biscassi - 2025. 250 f. : il., graf., tab.</p> <p>Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) -- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2025. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rossi Coorientador: Prof. Dr. Evandro Roberto Alves</p> <p>1. Isomerismo óptico. 2. Técnicas de pesquisa. 3. Polarimetria. 4. Química – Estudo e ensino. 5. Material didático. I. Rossi, Alexandre. II. Alves, Evandro Roberto. III. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. IV. Título.</p> <p>CDU 544.122.3:37</p>
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**ENSINO E APRENDIZAGEM DE ISOMERIA ÓPTICA COM USO DE POLARÍMETRO  
ALTERNATIVO NA PERSPECTIVA DA EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

**Linha de pesquisa:** LP3-Química da vida

**Orientador:** Prof. Dr. Alexandre Rossi

**Coorientador:** Prof. Dr. Evandro Roberto Alves

Uberaba, 23 de junho de 2025

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Alexandre Rossi  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Profa. Dra. Ana Claudia Granato Malpass  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Aroldo Nascimento Silva  
Universidade Federal do Paraná



Documento assinado eletronicamente por **ALEXANDRE ROSSI, Professor do Magistério Superior**, em 23/06/2025, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA CLAUDIA GRANATO MALPASS, Professor do Magistério Superior**, em 23/06/2025, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **AROLDO NASCIMENTO SILVA, Usuário Externo**, em 24/06/2025, às 17:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1543893** e o código CRC **5B8E3DD3**.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A isomeria é um dos conteúdos abordados no ensino de Química que envolve conceitos abstratos, exigindo que os alunos sejam capazes de imaginar e compreender as estruturas moleculares em três dimensões (Correia *et al.*, 2010; Rezende, 2016; Trindade *et al.*, 2020). Na maioria das vezes, as dificuldades dos alunos no aprendizado da isomeria estão relacionadas à ausência de conhecimentos prévios sobre ligações químicas, geometria molecular e à dificuldade de visualização tridimensional das estruturas moleculares frequentemente representadas em um plano bidimensional. Outro fator relevante é a metodologia de ensino adotada pelos professores, geralmente influenciada por sua formação inicial nos cursos de graduação em Química, que ainda privilegiam abordagens tradicionais com pouca ênfase na utilização de recursos didáticos diversificados. Embora estudos recentes apontem avanços pontuais em estratégias didáticas, como o uso de modelagem e impressão 3D para facilitar a compreensão da isomeria espacial (Fonseca *et al.*, 2024), essas práticas inovadoras têm sido pouco adotadas. A predominância do livro didático nas aulas de Química (Teodoro *et al.*, 2023) reforça o cenário tradicional ainda vigente, evidenciando a necessidade de reformulação da formação inicial dos professores para integrar métodos capazes de favorecer a compreensão dos conceitos abstratos envolvidos no ensino de isomeria.

Visando minimizar as dificuldades e aprimorar o ensino-aprendizagem de isomeria em compostos orgânicos, a experimentação por investigação tem se mostrado uma estratégia interessante por posicionar os alunos de forma ativa em relação a sua aprendizagem (o próprio aluno protagoniza a sua aprendizagem), além de proporcionar reflexões e criatividade na construção do conhecimento (Rockenbach *et al.*, 2020; Da Silva; Bizerra, 2020; Wong; IP; NG, 2025).

Este trabalho de pesquisa buscou aplicar e avaliar a contribuição da experimentação investigativa no ensino e aprendizagem de isomeria óptica, por meio do uso de um polarímetro alternativo. Para isso, foi construído e utilizado um polarímetro alternativo no contexto da disciplina de Química Orgânica, ministrada no curso técnico em Química de uma escola técnica em Ituverava-SP. Nesse curso, já são conduzidos experimentos que exploram a extração de compostos orgânicos e utilizam a isomeria óptica para análises, de amostras de caldo de cana-de-açúcar. Essas atividades preexistentes oferecem uma oportunidade para enriquecer o

currículo, ampliando a análise da atividade óptica desses compostos por meio da técnica da polarimetria, integrada à experimentação investigativa.

A incorporação do experimento de polarimetria proporcionou aos alunos do curso Técnico em Química uma maior proximidade com a realidade profissional. A polarimetria desempenha um papel importante no controle de qualidade de produtos e processos que envolvem compostos opticamente ativos, tanto em laboratórios quanto em indústrias (Akhter; Alam, 2023; Del Río-Lima *et al.*, 2024; Felicidadario; Delos Santos, 2024). Considerando que a escola técnica está localizada em uma região industrializada, especialmente devido à presença de indústrias sucroenergéticas, é importante destacar que a maioria dos egressos dos cursos técnicos já faz parte ou busca oportunidades de emprego nesse setor. A instituição mantém vínculos com várias dessas indústrias, proporcionando aos alunos oportunidades adicionais de desenvolvimento, como programas de aprendizado para jovens.

No âmbito do ensino técnico, é importante mencionar o projeto de lei (PL) 6.494/19, apresentado em dezembro de 2019, que busca reformar diversos aspectos do sistema educacional e do mercado de trabalho no Brasil. Entre suas propostas, destaca-se a modificação na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), que visa promover a educação profissional técnica de nível médio de formas diversas, como a articulação com o Ensino Médio e cursos subsequentes. A pesquisa enfatiza a importância da educação profissional estar alinhada às demandas do mercado de trabalho local e regional, bem como à evolução científica e tecnológica. Também introduz ajustes na Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), estabelecendo quotas de aprendizes nos estabelecimentos e permitindo a compatibilidade entre a educação técnica e a atividade a ser exercida. Em resumo, o PL 6.494/19 visa modernizar a formação técnica profissional e a aprendizagem, tornando-as mais alinhadas às necessidades do mercado e proporcionando melhores oportunidades aos jovens brasileiros (Campos, *et al.*, 2019).

### 1.1 O ENSINO BASEADO NA INVESTIGAÇÃO (Inquiry-based Learning (IBL)).

A experimentação baseada em investigação (IBL, do inglês Inquiry-Based Learning) tem se consolidado como uma metodologia educacional capaz de promover um aprendizado em temas complexos, como a estereoquímica. Essa metodologia envolve os alunos em processos ativos de exploração, experimentação e análise,

oferecendo-lhes a oportunidade de construir o conhecimento de maneira prática e contextualizada. No campo da química, particularmente na estereoquímica, o IBL se mostra especialmente relevante permitindo explorar conceitos relacionados aos isômeros ópticos e sua formação. Ignatova *et al.* (2025) destacam que o IBL possibilita que os alunos compreendam as propriedades estereoquímicas, favorecendo a conexão entre conhecimento teórico e aplicações práticas.

Por meio de atividades experimentais investigativas, os alunos podem desenvolver habilidades para compreender as propriedades estereoquímicas, especialmente no estudo de isômeros ópticos. Essa prática não se limita ao entendimento das estruturas moleculares, mas mostra também, de forma prática, como essas características influenciam o comportamento de substâncias no cotidiano. Kurais *et al.* (2023) destacam que manipular modelos moleculares auxilia na visualização das propriedades estereoquímicas, facilitando a aprendizagem de conceitos abstratos. No Ensino Médio, por exemplo, o uso de exemplos simplificados, como a diferença entre a mão direita e a esquerda, auxilia os alunos a relacionarem a quiralidade a situações do dia a dia. A experimentação investigativa promove uma aprendizagem ativa e conectada à realidade, reforçando a importância da experimentação no ensino da Química.

Outro aspecto do IBL é o desenvolvimento de habilidades analíticas, essenciais para o aprendizado de conceitos científicos. Koterwas (2022) destaca que essa metodologia espelha o processo científico, incentivando os alunos a formularem hipóteses, conduzirem experimentos e interpretarem dados. No estudo dos isômeros ópticos, essas habilidades permitem aos alunos diferenciarem moléculas que possuem orientações espaciais distintas, auxiliando na compreensão de conceitos complexos de maneira prática. Jumaa e Ismail (2023) reforçam que a experimentação investigativa prepara os alunos para analisarem informações de forma crítica, conectando o conhecimento teórico à observação experimental, o que enriquece o aprendizado de estereoquímica e de outras áreas da Química.

A aplicação do aprendizado investigativo em contextos reais é um de seus principais diferenciais, especialmente no estudo de medicamentos e suas propriedades. Ignatova *et al.* (2025) destacam que essa metodologia preenche a lacuna entre o aprendizado teórico e as implicações práticas, permitindo que os alunos compreendam a relevância dos isômeros ópticos na eficácia e segurança dos medicamentos. Por exemplo, em fármacos como a talidomida, a diferenciação entre



enantiômeros está diretamente ligada à segurança do paciente. Entretanto, implementar o IBL apresenta desafios, como a necessidade de infraestrutura adequada e o preparo dos professores para conduzirem investigações científicas. Mudanças curriculares são necessárias para integrar essa metodologia de maneira efetiva (Duan *et al.*, 2023).

A questão que surge é: a experimentação investigativa pode contribuir de maneira relevante para a identificação e diferenciação dos isômeros ópticos?

A integração de experiências práticas no ensino de Química vai além da realização de experimentos em laboratório, buscando fomentar a capacidade dos alunos em estabelecer conexões entre os conhecimentos adquiridos em sala de aula e as situações-problema propostas pelo professor mediador. Essa metodologia é reforçada pela aprendizagem baseada em problemas (PBL), que incentiva o envolvimento ativo dos alunos em desafios práticos e promove a independência cognitiva e a motivação para o autoestudo (Garanina, 2020). O papel do professor, nesse contexto, é fundamental para mediar a aplicação do conhecimento, criando ambientes de aprendizagem dinâmicos e interdisciplinares que conectem a Química a outras áreas e à realidade vivida pelos alunos, tornando o conteúdo mais relevante e acessível (Baitureeva; Kuanysheva, 2022).

De acordo com Pontara e Mendes (2017), essa interconexão de conteúdos, buscando melhorar a qualidade do ensino de Química, estimula o interesse dos alunos ao envolvê-los ativamente, promovendo uma reflexão crítica e um desenvolvimento cognitivo.

Existe uma tendência bastante valorizada e relacionada à experimentação no ensino de ciências, conhecida como ensino por investigação (Andrade; Zeidler, 2023; Araújo, 2023). O ensino por investigação, conhecido na literatura como “*Inquiry-based Learning* (IBL), surgiu nos Estados Unidos na década de 1930, a partir das ideias e estudos do filósofo e pedagogo americano John Dewey (1859-1952), porém apresentou um grande destaque após seu falecimento aos 92 anos, isto é, a partir da segunda metade do século XX.

Segundo Vygotsky (s.d., p. 102-104), o aluno, quando desvinculadas das palavras familiares, desenvolvem significados próprios por meio da experimentação. A linguagem do ambiente orienta a generalização, embora o pensamento da criança siga um curso peculiar ao seu nível de desenvolvimento. O adulto fornece significados de palavras, resultando em complexos cognitivos. A semelhança entre

pseudoconceitos e conceitos reais dificulta a identificação desses complexos. Essas descobertas destacam a importância da experimentação na compreensão do desenvolvimento da linguagem e do pensamento, ressaltando a influência da linguagem do ambiente e a complexidade dos complexos cognitivos formados em resposta a ela.

O ensino por investigação é uma metodologia pedagógica que enfatiza o envolvimento ativo dos alunos e representa uma alternativa ao modelo tradicional de ensino tradicional, no qual os alunos são receptores de conhecimento ministrado pelo professor. Ambos os métodos têm suas vantagens e podem ser aplicados de maneira complementar, permitindo que os alunos aprendam de diferentes maneiras (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

O legado incontestável de John Dewey o faz ser respeitado e considerado por muitos como um dos mais influentes intelectuais na área da educação do século XX. Pioneiro em seu tempo, posicionou-se a favor da compreensão de um ensino ativo, no qual o aluno torna-se protagonista no processo de aquisição do conhecimento, buscando estimular nele a iniciativa, a originalidade e o agir de forma cooperativa (Costa; Monte, 2019). Dewey entendia que escolas, ditas tradicionais, que ofereciam um ensino pautado em obediência e submissão, não eram adequadas quanto ao processo ensino-aprendizagem. Seus estudos assemelhavam-se com o pensamento liberal norte-americano e inspiraram vários países, como é o caso do Brasil com o movimento da “Escola Nova”. Entre suas concepções mais difundidas salientam-se: a defesa da escola pública, a legalidade do poder político e a essencialidade de autogoverno dos alunos (Costa; Monte, 2019).

Carvalho (2018) considera o ensino por investigação como uma metodologia em que o professor promove condições para que os alunos: pensem, considerando a estrutura do conhecimento científico; falem, apresentando argumentação e construção de conhecimento; leiam, de forma crítica; e escrevam demonstrando clareza de ideia.

O ensino por investigação vincula-se a uma concepção de educação democrática e de ciência como empreendimento público que busca aproximar a aprendizagem em ciências das práticas, normas e linguagem da ciência. Esta aproximação é materializada por meio de atividades problematizadoras que propiciam o desenvolvimento da autonomia discente, inserindo-os em um novo contexto

discursivo e em outro modo de pensar: que é o modo de pensar da ciência (Nascimento; Sasseron, 2019; Silva Junior; Coelho, 2020).

Essas atividades podem ser apresentadas em diferentes formatos: experimental, demonstração, de simulação, atividades teóricas, situações históricas, entre outras (Sá *et al.*, 2007). O que é importante é que elas estejam associadas à proposição de uma situação-problema e que os alunos, com o professor (ou mediador de um centro/museu de ciências), se engajem em processos de proposição, comunicação e avaliação de ideias na tentativa de solucioná-las (Silva; Oliveira; Suart, 2021).

Sá e colaboradores (2011) em seu trabalho de pesquisa com um grupo de tutores e coordenadores de um curso de especialização em ensino de ciências, descreveram as principais características adequadas para o desenvolvimento de atividade de ensino investigativo. Primeiramente, propõe-se “construir um problema”, que deve ocorrer entre os alunos e o professor, oportunizando o surgimento de ideias e de conhecimentos para a sua resolução. A segunda característica levantada foi a da “valorização do debate e a argumentação”, uma vez que para todo problema autêntico deve existir uma diversidade de pontos de vista sobre como abordá-lo para a busca da solução. Os diferentes pontos de vista devem ser valorizados, analisados, promovendo a argumentação entre todos envolvidos no processo. A terceira característica apontada pelos autores foi a de “propiciar a obtenção e a avaliação de evidências” que levarão aos resultados para sustentar a solução do problema. A quarta característica apresentada consiste em “aplicar e avaliar teorias científicas”, destacando-se a necessidade de se recorrer a teorias e modelos para reconhecer e interpretar evidências. A apropriação do conhecimento científico pelos alunos depende, assim, da criação de situações em que esse conhecimento possa ser aplicado e avaliado na solução de problemas. Essas situações podem ser vivenciadas por meio de atividades de natureza investigativa. A quinta e última característica consiste em “permitir múltiplas interpretações”, levando a um consenso entre todos os envolvidos na resolução do problema.

No contexto da didática das ciências é explorado o papel das argumentações em sala de aula. Três linhas de pesquisa fundamentais são identificadas: a busca pela precisão na definição de situações e conceitos, a promoção da coerência e coesão no discurso, e a análise da organização do raciocínio durante as aulas. Reconhece-se a

riqueza das interações discursivas que ocorrem, abrangendo desde exposições orais até o uso de recursos visuais.

Os estudos sobre a didática das ciências frequentemente destacam a importância do uso de abordagens investigativas no ensino, enfocando a resolução de problemas como um elemento para a construção de conceitos científicos sólidos. Essa perspectiva ressoa com a Alfabetização Científica (AC), que emerge como um guia para o desenvolvimento curricular, promovendo a capacidade dos alunos de investigar temas científicos e discutir suas interações com a sociedade e o meio ambiente. A AC, de acordo com diversas pesquisas, compreende três eixos fundamentais: a compreensão de conceitos científicos básicos, o entendimento da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que a envolvem, e a apreciação das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. A análise dos indicadores da AC, como a formulação de hipóteses, a coleta e organização de dados, a construção de explicações e justificativas, e o uso de raciocínio lógico e proporcional, revela-se uma maneira valiosa de avaliar a proficiência dos alunos na alfabetização científica. Vale ressaltar que esses indicadores não são vistos como habilidades hierarquicamente dispostas, mas sim como elementos que seguem uma ordem temporal, refletindo os passos necessários para a realização de uma investigação científica (Sasseron, 2011).

Barcellos *et al.* (2019) afirmam que as ações de alunos, durante atividades baseadas no ensino por investigação, vão além da observação e manipulação de objetos. Essas ações se relacionam ao desenvolvimento de questionamentos, organização de ideias e argumentação. Os autores também destacam a polissemia acerca do ensino por investigação, mas reconhecem o consenso entre os pesquisadores, que essa metodologia está atrelada a situações-problema como disparador do processo educativo. Deste modo, considera-se que:

“ao conceber o ensino por investigação como uma postura pedagógica e não como um método a ser aplicado, destaca-se a importância da mediação balizada por uma situação-problema possibilitar a criação de um ambiente investigativo em sala de aula, tornando-a um espaço no qual os alunos podem compartilhar experiências, informações e saberes uns com os outros e com o professor” (Coelho; Ambrózio, 2019 p. 496).

A metodologia do ensino por investigação é fundamentada na construção do conhecimento por meio de problematizações da realidade, considerando-se os alunos como parte importante e ativa do processo, sendo esse mediado pelos professores (Bodevan, 2020, p.34). Apresentar-se ativo no processo é engajar-se durante a realização da atividade, trazendo contribuições para a resolução da situação-problema, isto é: questionar, argumentar, levantar hipóteses, elaborar justificativas, socializar ideias, entre outras práticas que possam colaborar para a construção de conhecimento ou de novos sentidos dos conceitos trabalhados durante a aula (Bodevan, Coelho, 2022).

Percebe-se que o espaço dado ao aluno para construir seu conhecimento possibilita a construção de uma cultura de pensamento, que o conduz a superar a fragmentação disciplinar e a estabelecer vínculos com o mundo real. É este tipo de aprendizagem que provoca nos alunos o desenvolvimento de habilidades, que vem sendo recomendada pela legislação brasileira, através na nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018; Monteiro *et al.*, 2022). A BNCC apresenta a premissa para a construção de conhecimentos com base na realidade local, por meio de contextos conhecidos e vivenciados pelos alunos na sua comunidade. Assim, ao se pensar em atividades investigativas que envolvam o universo do estudante, abrem-se possibilidades de situá-lo historicamente no processo e torná-lo um agente participante da sociedade. A ciência, nesse movimento, deixa de ser um objeto longínquo de observação teórica e, ao contrário disso, passa a ser vivência cotidiana e parte do desenvolvimento do letramento científico, proposto pela BNCC (Guedes *et al.*, 2022).

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) é um pilar fundamental no cenário educacional brasileiro, fornecendo o alicerce jurídico para o sistema de ensino do país. Embora não aborde diretamente a experimentação química, sua influência indireta é profunda. No que diz respeito ao currículo e conteúdo programático, a LDB delineia as diretrizes gerais, moldando o que é ensinado nas escolas, incluindo a disciplina de química. Ela também impacta a formação de professores, garantindo que os educadores estejam preparados para conduzir experimentos com segurança e eficiência. A LDB afeta o financiamento educacional, podendo impactar a disponibilidade de recursos e equipamentos necessários para práticas experimentais de qualidade. Por fim, a legislação influencia os padrões de avaliação, incentivando a inclusão de critérios relacionados à execução e

compreensão de experimentos no processo educacional em química. Dessa forma, a LDB desempenha um papel indireto, mas significativo, na forma como a experimentação química é incorporada à educação brasileira (BRASIL, 1998).

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) desempenha um papel relevante na promoção da argumentação investigativa no contexto educacional. Através da definição dos objetivos gerais da educação no Brasil, a LDB valoriza o desenvolvimento de competências cognitivas, como o pensamento crítico e a capacidade de pesquisa. As diretrizes curriculares podem destacar a importância da argumentação investigativa como uma habilidade essencial para o crescimento dos alunos. A formação de professores conforme a LDB visa capacitá-los a orientar os alunos na construção de argumentos sólidos baseados em evidências, reforçando a ênfase na análise crítica e na coleta de dados. Os padrões de avaliação também podem ser influenciados pela LDB, incentivando a inclusão da capacidade dos alunos de realizar pesquisas e apresentar argumentos bem fundamentados como parte dos critérios de avaliação, fortalecendo ainda mais a prática da argumentação investigativa nas escolas (BRASIL, 1998).

Para uso do ensino por investigação, o professor precisa orientar a turma sobre a resolução de um problema real que se quer resolver, normalmente, apresentado na forma de um texto, um vídeo, uma reportagem, entre outros. O docente já não é aquele que detém o saber e realiza todas as explicações, diferentemente, ele se torna aquele que incentiva os alunos ao levantamento e teste de hipóteses, a coleta e análise de dados e a busca de argumentos com evidências para a resolução do problema real. Portanto, Carvalho (2013, p. 2) afirma que “ao fazer uma questão, ao propor um problema, o professor passa a tarefa de raciocinar para o aluno e sua ação não é mais o de expor, mas de orientar e encaminhar as reflexões dos alunos na construção do novo conhecimento [...]”. O professor atuará como guia, orientando o aluno a pesquisar mais sobre o problema para que ele chegue a uma solução. No entanto, para se chegar à resolução final do problema, o aluno passará por etapas como: levantamento e teste de hipóteses, identificação de evidências, sistematização dos conceitos envolvidos, contextualização e avaliação (Carvalho, 2013).

## 1.2 EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA E O ENSINO DE QUÍMICA

Bedin (2019) destaca a persistência das metodologias docentes tradicionais no ensino de Química, que se concentram em cálculos matemáticos, memorização de fórmulas e nomenclatura de compostos, sem a validação de fenômenos e conceitos. Essa metodologia limita a participação ativa dos alunos, negligenciando experimentos e aulas diversificadas. No entanto, é fundamental reconhecer que o ensino de química deve abranger não apenas o conhecimento químico em si, mas também suas manifestações e interações no contexto da ciência e da tecnologia. O processo educacional deve ir além da simples transmissão de conteúdo, incentivando atividades psico-cognitivas dos alunos para que se tornem alunos ativos na assimilação e ressignificação de conceitos. A aprendizagem engloba a integração de diversos saberes em contextos sociais diversos. Portanto, para abordar o desafio de "Como ensinar química?", é necessário adotar uma metodologia que promova a compreensão profunda e a participação ativa dos alunos, incentivando a reflexão crítica e a aplicação do conhecimento em contextos relevantes.

Para abordar a questão do ensino de química, é fundamental considerar sua relação com o currículo, a formação dos professores e os processos de ensino-aprendizagem dentro do contexto educacional. A Educação Química tem dois objetivos interligados, mas distintos: primeiro, preparar o aluno para uma cidadania ativa, e segundo, estabelecer uma base sólida para sua compreensão crítica do mundo, especialmente no âmbito sociocientífico. Ambos os objetivos são essenciais para capacitar o aluno a tomar decisões embasadas em informações e avaliar as diversas implicações decorrentes de suas escolhas (Santos; Schnetzler, 1996).

Há relatos de que a experimentação química foi inserida pela primeira vez no contexto escolar em 1865, no *Royal College Chemistry*, na Inglaterra (Galiazzi, 2000), embora Petitat (1994) confirma em seu trabalho, que já existiam mais de 600 locais de experimentação e observação na França. Após a Primeira Guerra Mundial, o uso do laboratório nas aulas de Ciências é iniciado, apresentando-se como uma estratégia de apenas ilustrar e verificar informações previamente aprendidas em uma lição ou em um livro didático (Hofstein; Abrahams, 2013).

Experimentações investigativas realizadas em sala de aula são fundamentais para o processo de ensino. Elas começam com a identificação de um problema ou fenômeno, levando os alunos a formularem hipóteses e pensarem de maneira crítica.



O papel do professor é orientar os alunos, ajudando-os a conectar suas hipóteses com teorias químicas conhecidas. Experimentos investigativos permitem que os alunos desenvolvam suas ideias e aprendam não apenas por meio de demonstrações vistas, mas também por meio da interação, discussão e argumentação, o que promove uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos (Antunes, 2018).

Pesquisas na área de ensino de ciências indicam que a experimentação investigativa melhora o engajamento e a compreensão dos alunos. A literatura sobre experimentação investigativa sugere que atividades de laboratório que envolvem raciocínio crítico e análise de dados promovem o desenvolvimento de habilidades cognitivas avançadas e aumentam o interesse dos alunos pela Química. No caso específico do uso de polarímetros no ensino de isomeria óptica, a prática de realizar medições e interpretar resultados ajuda os alunos a internalizarem conceitos sobre quiralidade e atividade óptica, que podem parecer abstratos sem uma experiência prática (Ramadani; Pejchinovska-Stojkovikj, 2023; Reiss; Sheldrake; Lodge, 2023; Kotsis, 2024).

A tendência da utilização da experimentação nas ciências foi causada por vários fatores tanto políticos quanto educacionais. A partir da década de 60, as atividades do *International Biological Program in Educational Chemistry Curriculum (IBECC)* foram impactadas por eventos internacionais, como o lançamento do Sputnik russo em 1957, que desencadeou um movimento global de renovação do ensino de ciências. Isso levou à necessidade de criar materiais didáticos para reduzir a diferença percebida entre os países ocidentais e a União Soviética em termos de ensino científico. Essas iniciativas resultaram em grandes projetos curriculares e na produção de materiais didáticos inovadores, como o *Biological Sciences Curriculum Study (BSCS)*, *Physical Science Study Committee (PSSC)*, *Project Harvard Physics*, *Chemical Education Materials Study (Chem Study)* e *Chemical Bond Approach (CBA)* nos Estados Unidos, além de projetos financiados pela Fundação Nuffield na Inglaterra, todos destinados a melhorar o ensino de Biologia, Física e Química. Esses projetos foram uma resposta ao que era percebido como a superioridade do ensino de ciências nas escolas secundárias soviéticas (Nardi, 2005).

Um fator educacional importante foi a conscientização emergente de que a educação científica não deveria centrar-se apenas nos conceitos e leis, mas também na natureza da ciência, sendo essa de uma área empírica onde experimentos desempenham um papel importante. Ainda, foi considerado que a realização das



atividades experimentais no âmbito escolar contribuiria para preencher a lacuna existente entre o ensino médio e o universitário (De Jong, 1998).

Apesar da experimentação fazer parte do ensino de Ciências há muito tempo, sua relevância foi amplamente disseminada a partir da década de 1960, impulsionada por projetos que valorizavam as atividades experimentais, seguindo os pressupostos teóricos de John Dewey. Nos Estados Unidos, destacam-se o *BSCS*, *Chem Study* e o *PSSC*. Na Inglaterra, a Fundação Nuffield lançou cursos de Biologia, Química e Física, reforçando essa tendência. Além do interesse pedagógico, esses projetos surgiram em um contexto histórico influenciado pela Guerra Fria, especialmente após o lançamento do satélite soviético Sputnik em 1957, o que evidenciou a necessidade de aprimorar o ensino de ciências no mundo ocidental (De Jong, 1998).". No Brasil, um livro do projeto CHEMS foi publicado na década de 60, com o nome "Química – uma ciência experimental". Uma das características desse material didático era a visão empirista de Ciência, salientando o entendimento de que todo o conhecimento deriva da experimentação e os sentidos fornecem as bases seguras para a Ciência. Porém, esses pressupostos têm sido criticados pelas discussões atuais sobre a natureza do conhecimento científico (Gonçalves, 2005).

A experimentação cujos objetivos principais são a motivação da turma ou a comprovação de teorias pouco contribui para a aprendizagem dos alunos (Gil-Pérez; Valdés-Castro, 1996). A experimentação nas aulas de Química tem função pedagógica, ou seja, ela presta-se a aprendizagem da Química de maneira ampla, envolvendo a formação de conceitos, a aquisição de habilidades de pensamento, a compreensão do trabalho científico, aplicação dos saberes práticos e teóricos na compreensão, controle e previsão dos fenômenos físicos e o desenvolvimento da capacidade de argumentação científica. É preciso que as atividades experimentais desenvolvidas nas aulas de Química possam propiciar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de refletir sobre os fenômenos físicos, articulando seus conhecimentos já adquiridos e formando novos conhecimentos. Neste processo de construção dos conhecimentos, as atividades experimentais poderiam ser organizadas de maneira a colocar os alunos diante de situações problemáticas, nas quais eles poderão usar dados empíricos, raciocínio lógico, conhecimentos teóricos e criatividade para propor suas próprias hipóteses, argumentações e explicações. Quanto maior a abertura que se dê aos alunos nas aulas experimentais para que eles exponham seus raciocínios, confrontem suas teorias e debatam seus argumentos, tanto maior será o

desenvolvimento não apenas da aprendizagem de conceitos da ciência, mas também de um pensamento científico (Souza *et al.*, 2013).

A experimentação investigativa tem sido influenciada por diferentes abordagens teóricas que fundamentam a aprendizagem por meio da exploração ativa e da formulação de hipóteses. Autores como Dewey, Bruner e Schwab trouxeram contribuições diretas para esse modelo de ensino, enfatizando o aprendizado por meio da experiência e da investigação estruturada. Outros pesquisadores, como Piaget e Montessori, ainda que de forma indireta, influenciaram práticas que favorecem a autonomia e a construção ativa do conhecimento. Na Tabela (1), encontra-se um resumo das principais contribuições desses teóricos, destacando seu impacto na experimentação investigativa e no ensino de química. Essa sistematização permite compreender como diferentes concepções sobre a aprendizagem moldaram as metodologias investigativas e como essas ideias fundamentam a proposta desta pesquisa. Dessa forma, ao alinhar essas perspectivas com o ensino experimental, busca-se reforçar o papel da experimentação investigativa na construção do conhecimento químico e na formação crítica dos alunos.

Tabela 1 - Autores e Contribuições na Experimentação Investigativa.

<b>Autor</b>	<b>Contribuição para a Experimentação Investigativa</b>	<b>Impacto no Ensino de Química</b>
<b>John Dewey</b> (Final do século XIX e início do século XX)	Introduziu o conceito de <i>learning by doing</i> , enfatizando a aprendizagem baseada na experiência e na interação com o ambiente. <b>(Direta)</b>	Base para o ensino por investigação, promovendo atividades experimentais que incentivam a formulação de hipóteses e a resolução de problemas.
<b>Jerome Bruner</b> (Meio do século XX (1950-1990))	Defendeu o aprendizado ativo e a descoberta guiada, permitindo que os alunos construam conhecimento por meio da experimentação. <b>(Direta)</b>	Aplicável no ensino experimental, pois incentiva os alunos a explorarem conceitos científicos por meio da descoberta guiada.
<b>David Ausubel</b> (Meio do século XX (1960-1990))	Destacou a importância da aprendizagem significativa, conectando novos conceitos ao conhecimento prévio dos alunos.	Contribui para a contextualização do ensino experimental, ajudando os alunos a conectarem a teoria à prática.

<b>Joseph Schwab</b> (Meio do século XX (1950-1980))	Desenvolveu o ensino por investigação nas ciências, estruturando modelos de experimentação aberta e guiada. <b>(Direta)</b>	Estruturou abordagens de experimentação investigativa, permitindo que os alunos desenvolvam autonomia na formulação de hipóteses e testes.
<b>Alberto Villani</b> (Final do século XX e início do século XXI)	Trabalhou com ensino investigativo no Brasil, destacando a importância do conflito cognitivo no aprendizado experimental. <b>(Direta)</b>	Enfatizou a argumentação científica e a necessidade de promover conflitos cognitivos para estimular o aprendizado investigativo.
<b>Jean Piaget</b> (Primeira metade do século XX (1920-1980))	Explorou o impacto do desenvolvimento cognitivo na aprendizagem, enfatizando a necessidade de experimentação para assimilação e acomodação de novos conhecimentos. <b>(Indireta)</b>	Relevante para o planejamento de atividades experimentais adequadas aos níveis cognitivos dos alunos.
<b>Maria Montessori</b> (Final do século XIX e início do século XX)	Enfatizou a autonomia do aluno e o uso de materiais manipulativos para estimular a investigação e a descoberta individual. <b>(Indireta)</b>	Sugere metodologias que podem ser adaptadas para criar materiais experimentais acessíveis e fomentar a autonomia na aprendizagem.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A aplicação de atividades experimentais na área da Química ainda é vista como uma estratégia de grande potencial para a melhoria do ensino-aprendizagem no Ensino Médio (Andrade; Viana, 2017; Kundlatsch; Agostini; Rodrigues, 2018).

Segundo Silva, Machado e Tunes (2013), a experimentação em Química pode ser entendida como uma atividade em que o conhecimento é articulado entre fenômenos e teorias e, por isso, existem diferentes maneiras para realizá-la, como, por exemplo, experimentos de laboratório, demonstrações em sala de aula, simulações virtuais, vídeos, filmes e etc. (BRASIL, 2002; Silva; Machado; Tunes, 2013). A escolha de uma metodologia para a prática de atividades experimentais depende dos objetivos específicos do problema, das competências que se pretende desenvolver, dos recursos disponíveis e do contexto em que serão realizadas. Mas, conforme destacado nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

(PCN+), é fundamental que, dentro da metodologia escolhida, seja promovido o exercício da observação, da elaboração de questionamentos, do levantamento de hipóteses e do desenvolvimento do raciocínio analítico (BRASIL, 2002).

A recomendação das atividades experimentais no Ensino de Química é intensificada nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN - Ensino Médio) em que propõem uma abordagem de temas sociais (do cotidiano) e uma experimentação que não dissociadas da teoria, não sejam pretensos ou meros elementos de motivação ou de ilustração, mas efetivas possibilidades de contextualização dos conhecimentos químicos, tornando-os socialmente relevantes (BRASIL, 2000). Um dos pontos destacados nos PCN para o Ensino Médio é a diferença entre os experimentos desenvolvidos na construção do conhecimento científico e aqueles realizados na escola (BRASIL, 2000, Gonçalves, 2005). Segundo Gonçalves (2005), essa consideração se contrapõe à expectativa de muitos professores a respeito de um suposto “método científico” como modo de aprender Ciências. Mesmo que existisse somente esse “método” no qual os cientistas sustentassem as suas atividades, não seria necessariamente uma maneira adequada para favorecer a aprendizagem em sala de aula. Ressalta-se ainda, no documento citado, a importância de valorizar o diálogo se temos como objetivo a aprendizagem dos alunos, buscando-se assim transcender a simples realização de observações e medidas, pois aprender é um processo que possui uma dimensão social. Portanto, promover a interação entre os alunos pode contribuir para que eles enriqueçam seus conhecimentos sobre o tema estudado (Gonçalves, 2005). Esses aspectos caracterizam a experimentação como um momento dialógico e de fortalecimento do coletivo que, de modo geral, é raro ser priorizado na educação em Ciências. A problematização das atividades experimentais ressurgiu nas orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio na área de Ciências Naturais, Matemáticas e suas Tecnologias - PCN+ (BRASIL, 2002). Nas disciplinas de Ciências Naturais - Química, Física e Biologia, salienta-se a necessidade de desenvolver atividades experimentais com caráter investigativo, o que não é recente no discurso acerca da experimentação (Gonçalves, 2005). As atividades experimentais investigativas, nas quais são dados espaços para que os alunos construam seus conhecimentos, são também recomendadas pela Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), conforme relatado a seguir:

“Os processos e práticas de investigação merecem também destaque especial nessa área. Portanto, a dimensão investigativa das Ciências da Natureza deve ser enfatizada no Ensino Médio, aproximando os alunos dos procedimentos e instrumentos de investigação, tais como: identificar problemas, formular questões, identificar informações ou variáveis relevantes, propor e testar hipóteses, elaborar argumentos e explicações, escolher e utilizar instrumentos de medida, planejar e realizar atividades experimentais e pesquisas de campo, relatar, avaliar e comunicar conclusões e desenvolver ações de intervenção, a partir da análise de dados e informações sobre as temáticas da área” (BRASIL, 2018, p. 550).

Alunos envolvidos em atividades experimentais investigativas em laboratório de ciências mostram avanços como: habilidade de formular hipóteses, planejar e executar investigações, realizar minuciosas observações, coletar dados, analisar e interpretar variáveis e resultados, e sintetizar novos conhecimentos. Esse tipo de atividade pode promover curiosidade, criatividade, responsabilidade e satisfação (Raghubir, 1999). Assim, a experimentação investigativa faz com que os alunos, quando devidamente engajados, tenham um papel intelectual mais ativo durante as aulas, o que reflete diretamente na qualidade da aprendizagem. Para pensar na elaboração de uma experimentação investigativa, deve-se buscar atender um dos diferentes níveis de aproximação propostos por Silva (2011), que são determinados por alguns elementos pedagógicos. Silva (2011) propôs uma classificação em quatro níveis de acordo com a proximidade à metodologia investigativa (Quadro 1).

Quadro 1 – Níveis de aproximação a uma atividade investigativa.

Níveis	N1 - Não apresenta características investigativas	N2 - Tangencia características investigativas	N3 - Apresenta Algumas características de atividade investigativa	N4 - Atividade investigativa
<b>Objetivo</b>	Tópicos a serem estudados ou conteúdos específicos.	Habilidades genéricas e tópicos a serem estudados.	Habilidades e competências específicas.	Habilidades e competências específicas relacionadas ao assunto estudado.
<b>Problematização</b>	Não apresenta.	Questões sobre o assunto estudado (com o intuito de	Questões relacionadas ao assunto estudado	Problema a ser resolvido por meio

		organizar ou introduzir o assunto, podem ou não ser respondidas).	que são retomadas durante o experimento.	da atividade experimental, da busca de informações e de discussões.
<b>Elaboração de hipóteses</b>	Não há.	Elaborada pelo aluno para uma situação específica que não é explorada.	Elaborada pelo aluno para uma situação específica que será explorada na atividade.	Elaborada pelo aluno a partir da problematização.
<b>Atividade experimental</b>	Experimento por demonstração o aluno observa o que o professor apresenta sem interação.	Experimento por demonstração ou realizado pelo aluno a partir de um procedimento dado.	Experimento realizado pelo aluno a partir de um procedimento dado com algum grau de decisão no procedimento (por exemplo, massa, volume, concentração).	Experimento realizado pelo aluno a partir de um procedimento inicial e completado ou sugerido por ele.
<b>Questões conceituais para os alunos</b>	Não exploram os dados obtidos na atividade.	Exploram parcialmente os dados obtidos na atividade prática, solicitando ou não conclusões parciais.	Exploram os dados obtidos na atividade prática exigindo uma conclusão.	Exploram os dados obtidos na atividade prática exigindo uma conclusão ou a aplicação em novas situações.
<b>Sistematização dos conceitos</b>	Realizada exclusivamente pelo professor ou não apresentada.	Sem encaminhamento de questões de análise e de exploração da hipótese.	A partir dos resultados das análises propostas e exploração das hipóteses.	A partir das análises dos resultados, do confronto das ideias iniciais e finais, da exploração das hipóteses e das respostas ao problema proposto.
<b>Características do experimento</b>	Verificação ou ilustração de conceitos.	Apresenta características de verificação, porém com uma exploração conceitual inicial.	Apresenta características investigativas devido ao tipo de questões de análise dos dados.	Investigativo, busca resolver o problema proposto.

Fonte: Silva, 2011.

As questões de avaliação propostas pelos professores aos alunos podem auxiliá-los na análise dos resultados e de suas próprias ideias e, dessa maneira, no desenvolvimento de raciocínios científicos (Souza *et al.*, 2013).

Assim, na elaboração dessas questões deve-se considerar a demanda cognitiva que elas requerem dos alunos. Pode-se categorizar as questões a serem utilizadas para os alunos em três níveis (Shepardson; Pizzini, 1991 apud SUART; Marcondes, 2008), como é mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Nível de cognição das questões propostas para os alunos.

NÍVEIS	DESCRIÇÃO
1	Requer que o estudante somente recorde uma informação partindo dos dados obtidos.
2	Requer que o estudante desenvolva atividades como sequenciar, comparar, contrastar, aplicar leis e conceitos para a resolução do problema.
3	Requer que o estudante utilize os dados obtidos para propor hipóteses, fazer inferências, avaliar condições e generalizar.

Fonte: Suart, Marcondes, 2009.

Questões de nível 1 têm baixa exigência cognitiva, sua função é a de provocar a evocação de fatos, de um dado conceito ou conhecimento. São necessárias, mas não podem ser o único tipo de questão apresentada aos alunos. Questões do nível 2 requerem habilidades cognitivas de ordens mais altas do que a simples evocação, pois envolvem o reconhecimento da situação problemática, o estabelecimento de relações. As questões de nível 3 são as que exigem habilidades cognitivas de mais alta ordem, uma vez que as respostas a essas questões demandam o reconhecimento das variáveis relevantes e a avaliação destas generalizações do problema em outros contextos etc. Uma atividade com características investigativas deve apresentar questões dos três níveis, com ênfase nos dois últimos (Shepardson; Pizzini, 1991; Suart; Marcondes, 2008; Souza *et al.*, 2013).

### 1.3 ANÁLISE ARGUMENTATIVA

De acordo com Jiménez-Aleixandre e Erduran (2008), a argumentação é uma forma de discurso que necessita ser desenvolvida em estudantes e deve ser ensinada explicitamente, a partir de atividades estruturadas adequadamente para que os estudantes tenham oportunidades de discutir, avaliar e debater as questões a eles apresentadas. Essas autoras apontam que essa prática epistêmica pode contribuir para promover o ensino de ciências nos contextos da educação, da comunicação, do letramento científico, do encultramento e do desenvolvimento do raciocínio.

O referencial de análise proposto nesta dissertação foi baseado nos trabalhos de Jiménez-Aleixandre (2010), Kelly e Takao (2002) e de Martins e Justi (2017), busca investigar o raciocínio argumentativo expresso por estudantes.

Para analisar o raciocínio argumentativo expresso pelos alunos, inicialmente, deve-se o que seriam afirmativas (teoria, ponto de vista, ideia ou opinião que se deseja provar), justificativa (razão ou causa que dá suporte a uma afirmativa e a conecta a evidências) e evidência (observação, fato ou dado que oferece suporte à afirmativa) no discurso elaborado pelos estudantes (Martins; Justi, 2017). Essa classificação é realizada a partir de como os alunos expressaram esses elementos em seus argumentos. Por exemplo, se um aluno expressou uma relação causal, esta foi considerada como justificativa mesmo se ele apresentasse a evidência como justificativa. Mas, se o aluno apresentasse as informações sem estabelecer uma relação causal, tais informações foram consideradas como evidências. Nesse sentido, amplia-se a definição de justificativa proposta por Jiménez-Aleixandre (2010), considerando-a como causa que pode dar suporte a uma afirmativa e estabelecer a conexão explícita entre (i) a evidência e a afirmativa; e (ii) as interpretações deduzidas de dados, isto é, as inferências e a afirmativa. Tais inferências se tornam afirmativas causais quando sustentam uma teoria e podem estar, explícita ou implicitamente, apoiadas por evidências que dão suporte à afirmativa. Isso foi feito pois, durante a análise dos dados, percebeu-se que o suporte às ideias dos estudantes foi feito a partir de justificativas retiradas do texto e de interpretações deduzidas de dados (inferências) (Martins; Justi, 2017).

A partir da definição de cada elemento do argumento, classifica-se os níveis de complexidade (NC) de cada linha de raciocínio argumentativa (LRA) expressa pelos estudantes (Quadro 3). Considera-se as justificativas que são apoiadas por evidências



como sendo de um NC maior do que aquelas em que a evidência não foi explicitada, uma vez que, além de elaborar uma justificativa, elas exigem do estudante selecionar dados relevantes que deem suporte a ela. Portanto, o estabelecimento dessa relação requer do aluno um esforço cognitivo maior. Avalia-se as evidências (isto é, observações ou fatos que o aluno seleciona no texto para apoiar suas ideias) com NC menor do que as justificativas que não foram apoiadas por evidências. Isto porque estas são proposições que contemplam interpretações deduzidas de dados. Esse mesmo raciocínio foi utilizado quando os alunos inter-relacionaram: múltiplas evidências; múltiplas justificativas não apoiadas explicitamente por evidências; ou múltiplas justificativas sustentadas por evidências. Classifica-se com o NC 1, a LRA expressa pelo aluno que contempla uma ou múltiplas evidências. Em ambos os casos, a relação estabelecida é a mesma, isto é, a evidência sustenta a afirmativa. No entanto, consideramos que a apresentação e o inter-relacionamento de múltiplas evidências apresentam um NC (1B) maior do que a seleção de uma evidência (NC 1A), uma vez que requer do aluno selecionar vários dados e os inter-relacionar de modo a dar suporte à sua ideia. O mesmo raciocínio foi estabelecido para as justificativas sustentadas, explicitamente ou não, por evidências. Finalmente, em uma LRA que é constituída apenas por evidências, não é possível ter evidências isoladas. Quando isto acontece, cada evidência contempla uma LRA diferente. O mesmo ocorre para as justificativas sustentadas, explicitamente ou não, por evidências. O Quadro 3 apresenta a classificação e descrição dos NC dos relacionamentos.

Quadro 3 - Classificação e a descrição dos níveis de complexidade dos relacionamentos.

NC	Descrição
1A	Seleção de um dado relevante (evidência) em um conjunto de dados para dar suporte a uma teoria.
1B	Seleção e inter-relacionamento de múltiplos dados relevantes (evidências) em um conjunto de dados para dar suporte a uma teoria.
2A	Elaboração de uma justificativa não apoiada por evidência para dar suporte a uma teoria.
2B	Elaboração de múltiplas justificativas inter-relacionadas, mas não apoiadas por evidências, para dar suporte a uma teoria.

3A	Elaboração de uma justificativa apoiada por evidências para dar suporte a uma teoria.
3B	Elaboração de múltiplas justificativas inter-relacionadas e apoiadas por evidências para dar suporte a uma teoria.

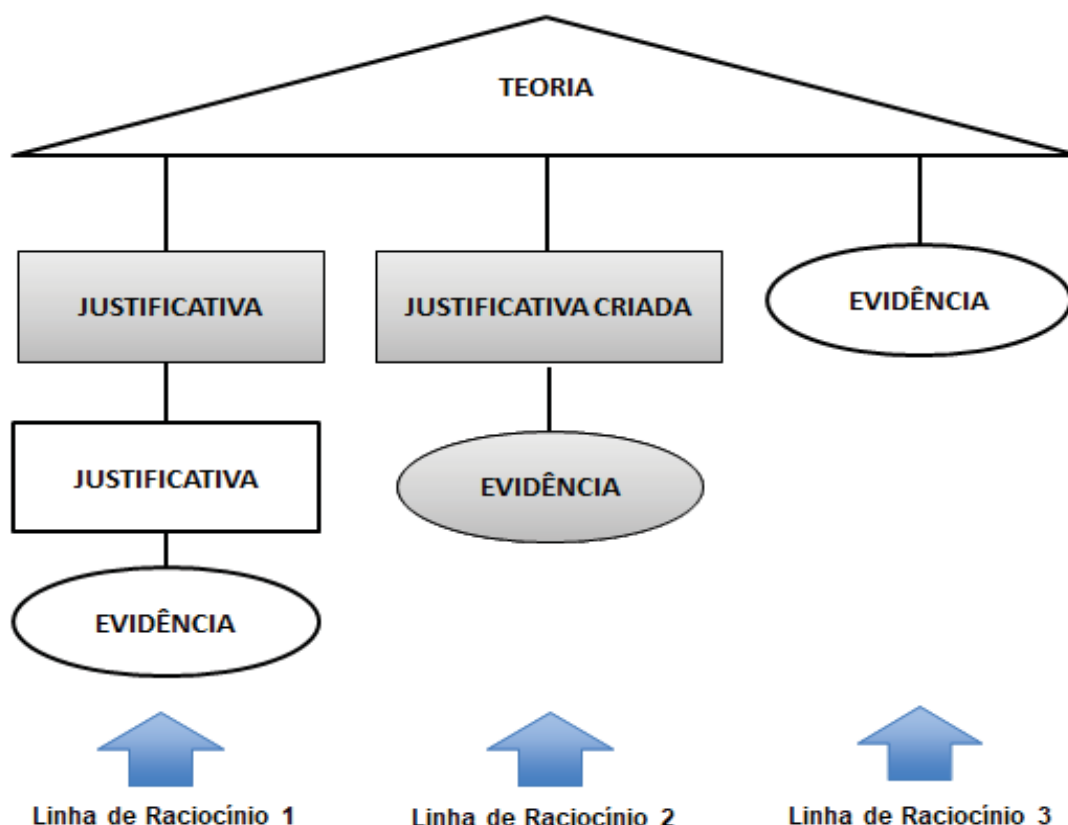
Fonte: Martins e Justi, 2017.

Após a classificação dos NC dos relacionamentos, elabora-se uma representação da estrutura dos argumentos que os alunos expressaram, isto é, busca-se compreender como eles organizaram suas ideias (conectaram suas justificativas e evidências) para apoiar suas teorias. Durante a análise argumentativa, segue-se os seguintes códigos, conforme mostrado na Figura 1.

As afirmativas, justificativas e evidências são representadas em triângulos, elipses e retângulos, respectivamente. Os elementos do raciocínio argumentativo (justificativa, evidências) quando contêm fundo cinza, indicam que foram elaboradas pelos alunos, enquanto a ausência dessa cor, indica que os alunos se expressaram baseados num livro, texto, etc.

As LRA são compreendidas como formas diferentes de raciocínios para sustentar uma mesma teoria. Portanto, uma teoria pode ser sustentada por várias LRA. A LRA que articula mais evidências e justificativas para apoiar uma teoria (por exemplo, a LRA 1, na Figura 1) é considerada mais elaborada, uma vez que os NC das relações estabelecidas são maiores e, portanto, sustentam melhor a teoria do que aquela que articula apenas uma evidência (por exemplo, a LRA 3, na Figura 1).

Figura 1- Representação Simplificada da estrutura do Argumento.



Fonte: Martins e Justi, 2017 – modificada.

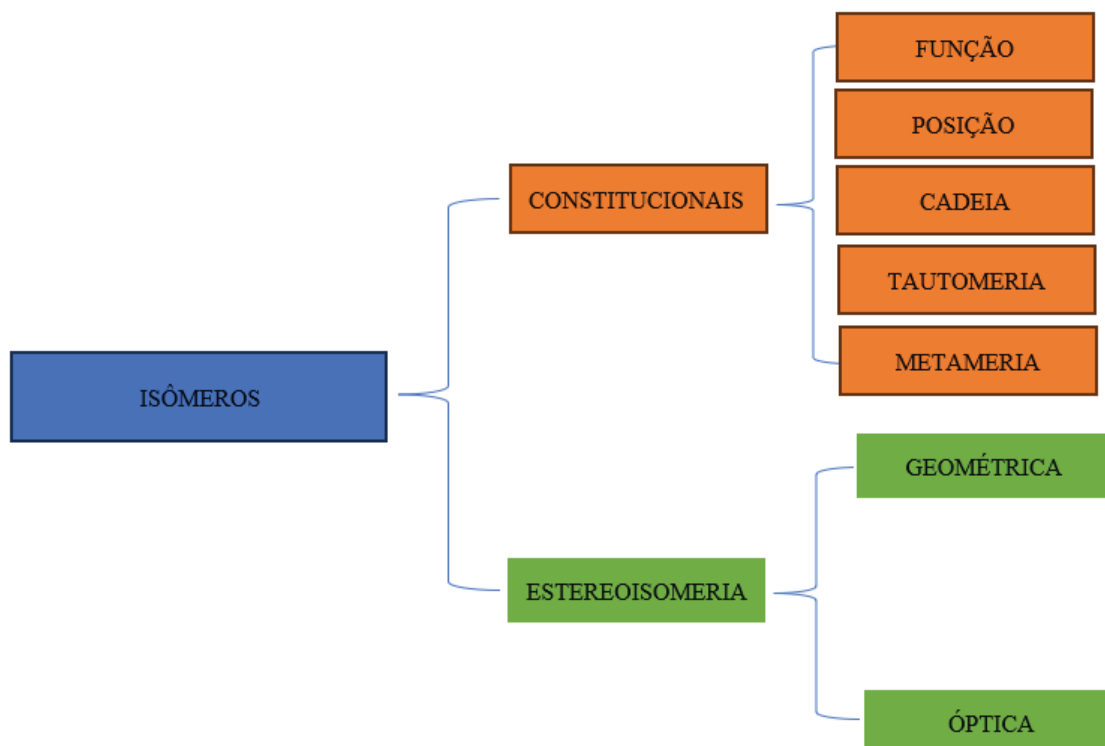
#### 1.4 ISOMERIA: CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

O conceito de Isomeria data de 1830, quando Berzelius fazia uma síntese orgânica e observou a existência de compostos químicos que apresentavam a mesma fórmula molecular, porém com propriedades físicas e químicas completamente distintas. Estes compostos foram denominados por Berzelius de isômeros (do grego iso = mesmo e meros = parte, partes iguais). Com o auxílio do químico alemão Liebig, que em 1824 já havia identificado o fenômeno da isomeria, Berzelius propôs uma explicação para o fenômeno, propondo que esses compostos apresentavam a mesma composição de elementos químicos, mas, a disposição quanto aos átomos desses elementos era diferente em cada composto (Fonseca, 2001). Este fenômeno está relacionado à existência de dois ou mais compostos químicos com fórmulas e massas moleculares idênticas, mas com propriedades diferentes. A descoberta da isomeria mostrou que as propriedades das substâncias químicas não dependem unicamente

de sua composição, mas também do arranjo espacial dos átomos na molécula (Mcmurry, 2011).

De acordo com Klein (2016), os isômeros podem ser classificados em isômeros constitucionais (estruturais) e estereoisômeros (ver Figura 2).

Figura 2 - Classificação dos Isômeros.



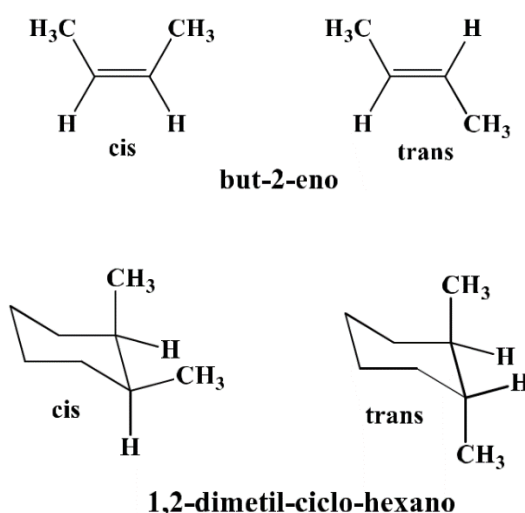
Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

**a) Isômeros constitucionais (estruturais).** Os átomos que compõem as moléculas desses isômeros são idênticos, no entanto, o arranjo é diferente (Atkins, 2018). Os compostos butano e metil-propano, apesar de terem a mesma fórmula molecular  $C_4H_{10}$ , têm conexões entre os átomos de carbono (C) diferentes, caracterizando uma cadeia carbônica linear e uma ramificada, respectivamente. Entretanto, ambos os compostos são gases, porém o butano condensa em  $-1^\circ C$  e o metil-propano, em  $-12^\circ C$  (Atkins, 2018). Esses isômeros são classificados em isômeros constitucionais de função, cadeia, posição e tautomeria (Worm, 2023).

**b) Estereoisômeros.** Trata-se de um caso específico de isomeria, em que as moléculas têm a mesma conectividade entre os átomos na molécula, mas, os arranjos espaciais são diferentes.

Uma das classes de estereoisômeros é a dos isômeros geométricos, em que os átomos têm arranjos diferentes em cada lado de uma ligação dupla covalente, ou acima e abaixo do anel de um composto cíclico. Os isômeros geométricos de alcenos dissustituídos são distinguidos pelos prefixos *cis* e *trans*. Se o alceno é trissustituído ou tetrassustituído, os termos *cis* ou *trans* são duvidosos ou não se aplicam (Solomons; Fryhle, 2012). Neste caso, utiliza-se o chamado Sistema (*E* - entgegen) e (*Z* - zusammen), seguindo as regras propostas pelos químicos Robert Sidney Cahn, Christophe Kelk Ingold e Vladimir Prelog em 1966 e adotado pela *International Union of Pure and Applied Chemistry/IUPAC* (Orlando *et al.*, 2007). A Figura 3 retrata exemplos de dois isômeros do composto but-2-eno: no isômero *cis*, os dois grupos metila estão no mesmo lado da ligação dupla; no isômero *trans*, os grupos metila estão em lados opostos da ligação dupla. Em se tratando do composto 1,2-dimetil-ciclo-hexano, no isômero *cis* os dois grupos metila estão voltados para o mesmo plano imaginário da molécula, enquanto no isômero *trans*, os grupos metilas estão orientados de maneira opostas ao plano imaginário do anel cíclico. Os isômeros geométricos têm a mesma fórmula molecular e fórmulas estruturais diferentes, conferindo diferentes propriedades físicas e químicas (Atkins, 2018).

Figura 3 - Isômeros geométricos de but-2-eno e do 1,2-dimetil-ciclo-hexano.



Fonte: Atkins (2018) - modificada.

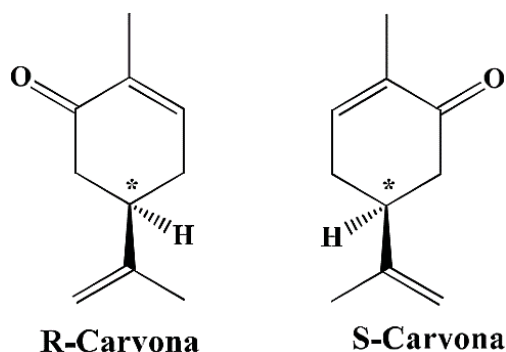
Outra classe de estereoisomeria é a isomeria óptica. Dois compostos químicos são isômeros óticos quando há uma relação de imagem especular não sobreponível entre uma molécula e outra. Essas moléculas são definidas como quirais. A termo

“quiral” vem da palavra grega *cheir*, que significa “mão” e é utilizado para descrever moléculas quirais por estarem relacionadas umas com as outras, da mesma maneira que a mão esquerda está relacionada com a direita. As mãos direita e esquerda são imagens uma da outra no espelho plano, mas não são sobreponíveis.

Uma molécula quiral e sua imagem no espelho plano formam um par de enantiômeros. Apesar de terem a mesma composição química, os dois enantiômeros são dois compostos diferentes. Nos compostos orgânicos, ocorre isomeria óptica sempre que quatro substituintes diferentes estão ligados a um átomo de carbono, que é, então, chamado de “átomo de carbono quiral” (Atkins, 2018). De acordo com o arranjo espacial dos diferentes substituintes ligados ao carbono quiral, os enantiômeros recebem os prefixos R ou S, seguindo o sistema de nomenclatura desenvolvido pelos químicos Robert Sidney Cahn, Christophe Kelk Ingold e Vladimir Prelog, em 1966.

Os enantiômeros têm propriedades químicas idênticas, exceto quando reagem com outros compostos quirais. Como muitas substâncias bioquímicas são quirais, uma consequência dessa diferença de reatividade é que os enantiômeros têm odores e atividades farmacológicas diferentes. Para ser eficaz farmacologicamente, a molécula tem que se ajustar em receptores de uma célula ou de uma enzima. Só uma das moléculas do par de enantiômeros é capaz de se ajustar no sítio receptor. Como exemplo de enantiômeros, tem-se a R-carvona, que é um dos principais aromatizantes presentes nas sementes de alcarávia, enquanto sua imagem no espelho, a S-carvona, é um dos constituintes do óleo de hortelã-verde (Figura 4). O átomo de carbono quiral é marcado com um asterisco (\*) em cada enantiômero (Atkins, 2018).

Figura 4 - Estruturas moleculares dos enantiômeros R e S da carvona.

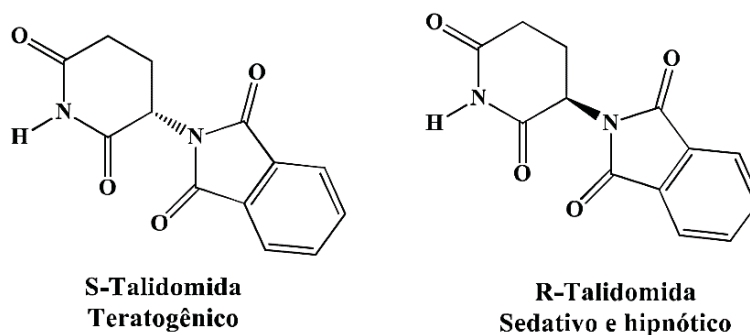


Fonte: Atkins (2018) - modificada.

Os enantiômeros apresentam propriedades físicas semelhantes, exceto quanto à rotação do plano da luz plano polarizada. Se uma molécula quiral gira o plano de polarização da luz no sentido horário, então a molécula que é sua imagem no espelho plano, gira o plano de polarização no sentido anti-horário com o mesmo ângulo de rotação. Com frequência, os compostos orgânicos sintetizados em laboratório são “misturas racêmicas”, ou seja, misturas de enantiômeros em proporções iguais. As reações em células vivas, porém, comumente conduzem a apenas um dos enantiômeros. É uma característica notável da natureza que todos os aminoácidos naturais dos animais tenham a mesma quiralidade (Atkins, 2018).

De acordo com Solomons e Fryhle (2012), os enantiômeros de fármacos têm perfis de atividade biológica distintos, muitas vezes com consequências graves ou até mesmo trágicas. Durante vários anos, o fármaco Talidomida foi usado na forma de racemato para aliviar sintomas de enjoo em mulheres grávidas, até que foi descoberto que o enantiômero S-Talidomida era a causa de má formação congênita em muitas crianças nascidas, após o uso desse fármaco (Solomons; Fryhle, 2012). As estruturas moleculares e isoméricas da Talidomida estão mostradas na Figura 5.

Figura 5 - Isômeros ópticos da Talidomida.



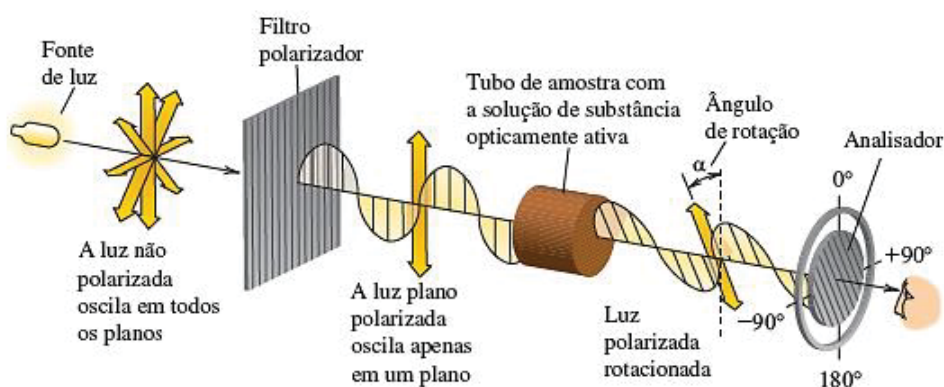
Fonte: Carrey (2011) - modificada.

## 1.5 ISOMERIA ÓPTICA: BREVE HISTÓRICO E ATUALIDADE

Em 1815, o cientista francês Jean Baptiste Biot estudava a natureza da luz, incidindo a luz plano polarizada em várias soluções de substâncias orgânicas. Em seus estudos, foi descoberto que certas soluções de substâncias orgânicas como, por exemplo, açúcares, giravam o plano da luz polarizada. Essas substâncias foram chamadas de opticamente ativas. Biot também observou que apenas algumas

substâncias possuíam essas características. As substâncias que não possuíam essa característica foram chamadas de opticamente inativas (Klein, 2016). A rotação da luz plano polarizada provocada pela presença de compostos opticamente ativos, pode ser medida experimentalmente utilizando um polarímetro. A representação do esquema de um polarímetro é mostrada na Figura 6.

Figura 6 - Esquema de um polarímetro.



Fonte: Carey (2011) - modificada.

De acordo com Carey (2011), a luz utilizada para medir a atividade óptica apresenta um único comprimento de onda e é plano polarizada. O comprimento de onda mais utilizado é o de 589 nm (denominado de linha D), que corresponde à luz amarela produzida por uma lâmpada de sódio. A lâmpada de sódio utilizada é comum, uma vez que sua luz não é polarizada, significando que a propagação da radiação eletromagnética ocorre em todas as direções. Um feixe de luz não polarizado é transformado em plano polarizado, quando a luz passa através de um filtro polarizador, que remove todas as ondas, com exceção daquela em que o vetor de campo elétrico pertence ao mesmo plano (Carey, 2011). A luz plano polarizada passa através do tubo que contém a amostra da substância a ser analisada, estando essa última em solução por meio de um solvente adequado, sendo em geral, utilizado a água, etanol ou clorofórmio. A amostra é “opticamente ativa” caso gire o plano da luz plano polarizada. A direção e a magnitude da rotação são medidas usando um segundo filtro polarizador (o “analisador”) e obtidas como ângulo de rotação  $\alpha$ , conforme pode ser observado na Figura 6 (Carey, 2011).

Segundo Carey (2011), o plano de polarização de uma onda de luz passa por uma rotação quando incide sobre uma molécula quiral. As formas enantioméricas de



uma molécula quiral causam uma rotação do plano de polarização em quantidades exatamente iguais, mas em direções opostas. Uma solução que contém quantidades iguais de enantiômeros não exibe rotação óptica (Carey, 2011), uma vez que os incrementos de rotação horária produzidos por um enantiômero são cancelados por um número igual de incrementos de rotação anti-horária produzidos pelo outro enantiômero (Carey, 2011). As misturas racêmicas são opticamente inativas, por outro lado, quando um enantiômero está presente em excesso, uma rotação do plano de polarização é observada (Carey, 2011).

Em 1847, foi proposta uma explicação para a origem da atividade óptica pelo cientista francês Louis Pasteur. Em sua pesquisa, concluiu-se que a atividade óptica é uma consequência direta da quiralidade, ou seja, substâncias quirais são opticamente ativas e as aquirais não são. Pasteur observou que os enantiômeros giram o plano da luz plano polarizada em magnitudes iguais, mas, em sentidos opostos (Klein, 2016).

A compreensão dos conhecimentos em isomeria óptica abriu uma nova era de aplicação e desenvolvimento de compostos orgânicos. Atualmente, a isomeria óptica tem relevante importância na área farmacêutica, uma vez que as drogas apresentam-se como isômeros e diferem em suas propriedades farmacocinéticas e farmacodinâmicas (Chhabra; Aseri; Padmanabhan, 2013). Compreendendo melhor essa questão por meio de exemplos, o isômero (R,R)-Cloranfenicol, que é utilizado como antibiótico, o seu isômero (S,S)-Cloranfenicol mostra-se ser inativo; o (S,S)-Etambutol é um medicamento antituberculose, enquanto o (R,R)-Etambutol foi observado como sendo causador de cegueira (Federsel, 1993; Chan, 1993). Assim, o conhecimento da isomeria óptica tem auxiliado na descoberta de drogas mais seguras e eficazes.

O estudo, desenvolvimento, produção e comercialização de um enantiômero puro a partir de um racemato original é chamado de "*chiral switching*" e com essa prática, várias empresas conseguiram estender o período de patente de fármacos. Essa estratégia vem se tornando um forte atrativo para o desenvolvimento de novos fármacos, pois muitos estudos clínicos necessários para o desenvolvimento do enantiômero puro já foram realizados durante o desenvolvimento do racemato, o que torna o processo mais dinâmico e barato (Orlando *et al.*, 2007; Gellad, *et al.*, 2014). A justificativa da concessão de novas patentes para o desenvolvimento e produção de enantiômeros puros é baseada nos fatos de que os mesmos apresentem uma ou mais das seguintes vantagens: i) maior índice terapêutico; ii) menor ou maior duração do

tempo de ação (meia vida); iii) menor variabilidade interindividual; iv) menor potencial de interações medicamentosas e v) menor capacidade de desenvolver efeitos colaterais (Orlando *et al.*, 2007).

Vale ressaltar que a polarimetria é constantemente utilizada em diversas áreas da pesquisa como, por exemplo, o artigo publicado no *European Journal of Physics*, cujo título é “Previsões teóricas das mudanças na irradiação e na cor dos feixes de luz que viajam na água com açúcar, causadas por fenômenos de rotação óptica, e suas possíveis aplicações para fins educacionais” (Tokumistu; Hasegawa, 2018), o qual pontua que os fenômenos de coloração causados pela rotação óptica de feixes de luz plano polarizada em água açucarada podem ser utilizados como uma ferramenta educacional. Neste artigo, tais fenômenos de coloração são estudados em termos teóricos, e os resultados são comparados com os obtidos experimentalmente. Nesta perspectiva, pode também ser mencionado o artigo publicado no *Journal of Biomedical Optics* (Ghosh; Vitkin, 2011), o qual destaca que a polarimetria tem uma história longa e bem sucedida. Impulsionado por seu potencial biomédico, o uso de abordagens polarimétricas para avaliação de tecidos biológicos, recentemente recebeu atenção considerável. Especificamente, a polarização pode ser usada como uma ferramenta eficaz para discriminar e multiplicar a luz espalhada, para aumentar o contraste e melhorar a resolução da imagem do tecido (Ghosh, Vitkin, 2011). Diante do exposto, é notável a importância da polarimetria e, conseqüentemente, da isomeria, as quais ultrapassam os muros da escola, podendo ser utilizadas em vários campos que vão desde indústrias até mesmo na medicina.

## 1.6 MISTURA RACÊMICA E EXCESSO ENANTIOMÉRICO

As misturas racêmicas são compostas por quantidades iguais de dois enantiômeros de uma molécula quiral, resultando em propriedades físicas e químicas distintas das dos enantiômeros puros. Essas combinações possuem características específicas, como a formação de cristais racêmicos e a ausência de atividade óptica, devido à anulação das rotações ópticas dos enantiômeros presentes. Por essas razões, mistura racêmica trata-se de um tema relevante para a estereoquímica, especialmente em processos industriais e estudos relacionados a compostos quirais. A interação entre os dois enantiômeros afeta diretamente sua solubilidade e

reatividade, aspectos que impactam diversas aplicações científicas e tecnológicas (Škvára *et al.*, 2020).

Na área farmacêutica, esses sistemas desempenham um papel essencial, uma vez que muitos medicamentos são inicialmente sintetizados nessa forma. A atividade biológica dos enantiômeros pode variar, com um apresentando propriedades terapêuticas e o outro sendo inativo ou prejudicial. Para resolver essas diferenças, técnicas de resolução enantiomérica foram desenvolvidas, como a catálise quimioenzimática, que converte seletivamente essas misturas em compostos quirais. Esses avanços possibilitam a produção de medicamentos com alta pureza enantiomérica, atendendo aos requisitos de eficácia e segurança necessários no desenvolvimento de fármacos (Carceller *et al.*, 2020; Arbell *et al.*, 2021;).

A separação desses sistemas é um desafio técnico enfrentado com o uso de novas metodologias. Entre as estratégias mais recentes, destacam-se os métodos baseados em membranas quiral-seletivas, que têm alcançado resultados promissores na obtenção de alta seletividade. Outra metodologia inovadora é a resolução cinética via fotocatalise, que facilita a separação ao degradar seletivamente um dos enantiômeros. Essas soluções ampliam as possibilidades tanto em laboratório quanto em escala industrial, contribuindo para a obtenção de compostos quirais puros. O avanço constante dessas técnicas reforça a importância de superar os desafios associados a esses sistemas e suas diversas aplicações (Arbell *et al.*, 2021; Ong *et al.*, 2022).

O excesso enantiomérico (ee) é uma medida usada para comparar a quantidade de dois enantiômeros presentes em uma mistura. Ele indica, em porcentagem, qual dos enantiômeros é predominante. Essa métrica é muito útil para estudar compostos quirais, especialmente em áreas como a química e a farmacêutica, onde é importante entender a proporção entre os enantiômeros. Métodos modernos foram desenvolvidos para calcular o ee com mais precisão. Por exemplo, a Ressonância Magnética Nuclear (RMN de  $^1\text{H}$ ) e a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) são amplamente utilizadas para esse fim (Owens *et al.*, 2023).

Outras tecnologias têm ampliado as possibilidades de medir o ee de maneira prática. Técnicas como a espectrometria de massas e a atividade óptica Raman são exemplos que oferecem alta precisão e rapidez nos resultados. Essas abordagens têm sido úteis para caracterizar misturas contendo enantiômeros, ajudando na

produção de substâncias com maior pureza (Michal *et al.*, 2022; Czekner *et al.*, 2022). Cada método possui vantagens específicas, dependendo do objetivo da análise.

Embora as tecnologias para determinar o ee estejam em constante evolução, elas ainda enfrentam desafios como o alto custo e a necessidade de equipamentos especializados. Isso dificulta o uso dessas técnicas em laboratórios menores ou em aplicações de rotina. Por isso, é importante desenvolver métodos mais acessíveis e simples, que possam atender a uma maior variedade de contextos. Mesmo com essas limitações, o excesso enantiomérico continua sendo uma ferramenta essencial para o estudo e aplicação de compostos quirais em diferentes áreas (Zardi *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2023).

O e.e. é calculado considerando-se a rotação óptica observada dividida pela rotação específica do enantiômero puro, sendo representado pela fórmula:

$$e.e = \frac{\text{Rotação óptica observada}}{\text{Rotação específica do enantiômero puro}} \times 100 \quad (1)$$

## 2 OBJETIVOS (GERAL E ESPECÍFICOS)

### 2.1 GERAL

Contribuir para a melhoria do ensino de Química, promovendo uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos relacionados à isomeria óptica, por meio da aplicação da experimentação investigativa com o uso de um polarímetro alternativo.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- a) Contextualizar o processo de ensino-aprendizagem de isomeria óptica por meio de uma situação-problema;
- b) Construir um polarímetro alternativo com materiais de fácil acesso e de baixo custo, a ser utilizado como recurso didático para o ensino de isomeria óptica;
- c) Elaborar uma sequência didática incluindo a experimentação investigativa;
- d) Avaliar a contribuição da experimentação investigativa para o ensino-aprendizagem de isomeria óptica.
- e) Avaliar a aplicação do polarímetro em uma atividade experimental, na proposta da experimentação por investigação.

### 3 JUSTIFICATIVA

A polarimetria e a isomeria óptica são conteúdos relevantes ao ensino de Química, por associarem a estrutura molecular às propriedades ópticas dos compostos orgânicos. Estes conteúdos representam um desafio para os alunos, no momento da aprendizagem, devido à complexidade conceitual e abstração dos conteúdos (Cortés; Piquero; De Sande, 2024; Felicidadario; Delos Santos, 2024). Essas dificuldades são ainda mais agravadas pela falta de recursos didáticos que favoreçam a compreensão dos fenômenos associados à quiralidade e à rotação óptica de compostos orgânicos, bem como, pelo acesso limitado a materiais alternativos e práticas investigativas.

A análise realizada em bases de dados como *Web of Science*, *Scopus* e Google Acadêmico, referente ao período entre 2015 e 2025, permitiu identificar trabalhos relacionados à isomeria óptica, polarimetria e práticas educacionais. Para tanto, foram empregadas *strings* de busca como “Isomeria Óptica” OR “Optical Isomerism”, com o objetivo de localizar estudos sobre quiralidade e propriedades ópticas de compostos químicos; “Polarimetria” OR “Polarimetry”, para explorar o uso de técnicas ópticas no ensino e na experimentação; e termos como “Experimentação Investigativa” OR “Inquiry-Based Learning” OR “Experimental Practices”, com a finalidade de ampliar a busca por artigos que utilizam metodologias fundamentadas na experimentação prática e na investigação científica. Foram utilizadas *strings* como “Low-Cost Materials” OR “Accessible Resources” OR “Alternative Materials”, com o objetivo de identificar trabalhos que abordam a necessidade de recursos educacionais acessíveis e de baixo custo. Além disso, aplicaram-se filtros como “High School Education” OR “Secondary Education” OR “Chemistry Teaching” para delimitar os estudos ao contexto do Ensino Médio, com foco em práticas voltadas ao ensino de Química.

Após as *strings* serem aplicadas, ficou evidenciada a escassez de artigos científicos e recursos educacionais envolvendo a produção de materiais de baixo custo para ensino dos conceitos de isomeria óptica, polarimetria e quiralidade. Diante disso, a construção de um polarímetro alternativo surgiu como uma solução para suprir a deficiência encontrada, possibilitando a realização de experimentos práticos e acessíveis.

Em busca semelhante, ao associar o número de publicações que correlacionam os temas envolvendo experimentação investigativa, ensino de isomeria óptica e

polarimetria, pode se observar um número reduzido de publicações. Enquanto há uma produção significativa de estudos focados em isomeria óptica de forma isolada, as interseções entre Isomeria óptica, polarimetria e experimentação investigativa no contexto educacional apresentam uma lacuna evidente. Quando aplicada as *strings* "Isomeria Óptica" AND "Polarimetria" AND "Experimentação Investigativa" AND ("Ensino de Química" OR "Metodologias Ativas" OR "Atividades Experimentais" e "Optical Isomerism" AND "Polarimetry" AND "Inquiry-Based Experimentation" AND "Chemistry Education" OR "Active Methodologies" OR "Experimental Activities", os resultados encontrados, não evidenciaram publicações que correlacionem os temas, enfatizando ainda mais a lacuna existente.

Analisando as áreas temáticas propostas nas *strings* de buscas com as referências selecionadas para desenvolvimento dessa pesquisa, foi possível verificar a correlação entre os temas e suas respectivas publicações (Quadro 4).

Quadro 4 - Análise de Publicações por Área Temática.

Área Temática	Número de Publicações
Isomeria Óptica (apenas)	15
Polarimetria (apenas)	8
Experimentação Investigativa (apenas)	10
Isomeria Óptica e Polarimetria	5
Isomeria Óptica e Experimentação Investigativa	4
Polarimetria e Experimentação Investigativa	3
Isomeria Óptica, Polarimetria e Experimentação Investigativa	2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os dados obtidos mostram que, embora existam estudos isolados sobre isomeria óptica e experimentação investigativa, apenas duas publicações abordam os três temas de forma integrada.

Em razão das dificuldades de aprendizagem de isomeria e polarimetria pelos alunos do Ensino Médio, da quantidade limitada de materiais didáticos e dos poucos estudos que conectam esses conteúdos, ressalta-se a importância da pesquisa

proposta, visando preencher essas lacunas e proporcionar uma metodologia mais integrada para o ensino de isomeria óptica.



## 4 METODOLOGIA

A presente pesquisa é de natureza aplicada, com objetivo exploratório de experimentação Química. A experimentação Química investigativa sobre a isomeria óptica foi desenvolvida com 15 alunos do 2º módulo do curso técnico em Química de uma Escola Estadual Pública e localizada no município de Ituverava/SP. O procedimento metodológico da pesquisa envolveu momentos interativos e colaborativos de ensino-aprendizagem dentro do contexto de uma sequência didática (SD), com atividades realizadas tanto em sala de aula, quanto no laboratório de Química da instituição de ensino.

Primeiramente, o projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFTM para análise e parecer, tendo o mesmo sido aprovado para execução, sob parecer nº 6.586.157 (Apêndice D).

Após a aprovação do projeto de pesquisa pelo CEP, buscou-se obter a autorização da direção escolar para a realização das atividades. Esta etapa demandou o esclarecimento à direção, sobre quais seriam os objetivos da pesquisa e a forma como ela seria realizada com os alunos da unidade escolar. O apoio obtido da direção escolar para o desenvolvimento da pesquisa foi documentado, por meio de um termo de anuência, devidamente preenchido e assinado (Anexo 2). Antes do início das atividades, os alunos assinaram o Termo de Consentimento ou Assentimento Livre Esclarecido (TCLE/TALE) ou o Termo de Consentimento Livre Esclarecido-Responsável Legal (TCLERL).

Os dados obtidos foram analisados de forma quantitativa e qualitativa, sendo essa última baseada na narrativa dos alunos. As respostas dos questionários e as justificativas dos alunos foram tabuladas, permitindo comparações entre o desempenho inicial e final dos alunos. As justificativas argumentativas foram analisadas identificando-se padrões recorrentes e evolução argumentativa ao longo do processo.

Para a aplicação da experimentação investigativa foi proposta uma situação-problema que mais se aproximasse do cotidiano dos alunos, a qual é descrita a seguir: “Uma cliente chega à farmácia com uma prescrição médica para a compra de um analgésico/anti-inflamatório específico. O farmacêutico identifica que o medicamento prescrito é comercializado na forma de isômeros, ou seja, contém dois compostos de mesma fórmula molecular, porém cada um com uma atividade óptica e terapêutica

específica. Essas informações são compartilhadas com a cliente, no entanto, ela desconhece esses conceitos, e como eles estão relacionados ao efeito do medicamento no tratamento da dor. A cliente solicita esclarecimentos ao farmacêutico a respeito, com objetivo de compreender melhor as características do medicamento e poder utilizá-lo com segurança. Como é possível auxiliar o entendimento da cliente quanto às características químicas do medicamento?”

Os dados obtidos foram analisados de forma quantitativa e qualitativa, sendo essa última baseada na análise argumentativa proposta por Martins e Justi (2017). A análise argumentativa foi aplicada na etapa final do trabalho, mais especificamente, nas respostas dos alunos à solução da situação-problema.

Buscando obter informações relacionadas ao conhecimento dos alunos sobre a isomeria óptica, foi realizada uma roda de conversa em sala de aula, mediada pelo professor da turma responsável por ministrar a disciplina de Química Orgânica. Em seguida, os conteúdos teóricos foram abordados pelo professor em sala de aula. A atividade experimental resultou na elaboração de um produto educacional, parte 1 e parte 2 (Apêndice F), ambos podendo ser aplicados de forma independente, elaborados com o propósito de orientar outros professores na reprodução desses recursos em diferentes contextos escolares. O material apresenta, de forma detalhada, as etapas de montagem do equipamento. A criação do polarímetro buscou, não apenas ampliar o acesso à experimentação prática em ambientes com infraestrutura limitada, mas também incentivar o uso de estratégias que promovam a aprendizagem ativa e contextualizada da Química. Foram construídas quatro unidades do polarímetro alternativo.

Os materiais utilizados para a construção do polarímetro alternativo estão descritos no Quadro 5.

Quadro 5 – Materiais utilizados na construção do polarímetro alternativo.

<b>Materiais</b>	<b>Obtenção e Utilização</b>
Embalagem Tetra Pak®.	Obtido a partir de embalagens de suco ou leite utilizadas como parte estrutura principal do polarímetro devido à sua rigidez e resistência a líquidos.
Película polarizada.	Obtida de telas de TV de LCD descartadas. Utilizada para criar os filtros polarizadores.
Tampas plásticas de embalagens Tetra Pak®.	Encontradas em embalagens de suco ou leite. Funcionam como elementos de vedação e suporte para as partes móveis do polarímetro.
Cola instantânea (multiuso, superbonder, etc.).	Encontrada em papelarias e supermercados. Utilizada para a fixação de peças, proporcionando secagem e montagem rápida.
Cola de silicone.	Encontrada em papelarias e estabelecimentos de materiais de construção. Aplicada nas junções para vedação, garantindo que não ocorra vazamento da solução analisada.
Cola Tekbond® T6000.	Encontrada em papelaria, supermercados e estabelecimentos de materiais de construção. Aplicada para melhor colagem da folha de acetato na região interna da caixa Tetra Pak®.
Folha de acetato transparente.	Encontrado em papelaria. Utilizado na criação da coluna de visualização, que permite observar a altura da solução testada de maneira clara. O acetato pode ser encontrado e retirado de caixas

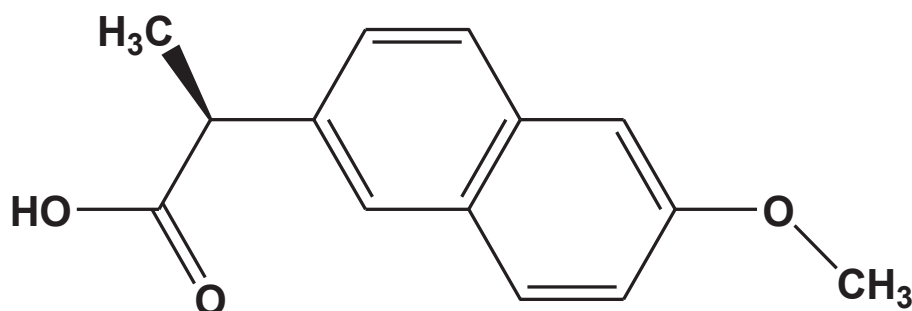
	de brinquedos ou comprado em papelarias.
Papel cartão.	Encontrado em papelaria. Utilizado para impressão de um transferidor que será fixado ao polarímetro, permitindo a marcação precisa dos ângulos de rotação. Também serve para criar o disco de apoio onde as medidas serão feitas.
Papel celofane amarelo.	Encontrado em papelaria. Disposto sobre a lanterna do celular para filtrar a luz branca e gerar uma luz monocromática amarela com comprimento de onda 589 nm, que é essencial para a análise da rotação óptica.
Papel A4.	Encontrado em papelaria e supermercados. Utilizado para impressão da escala de medidas.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para a aplicação da experimentação investigativa, o professor dividiu a turma de alunos em 04 grupos entregando-lhes três estruturas moleculares de analgésicos (paracetamol, naproxeno e dipirona) impressas em papel sulfite. Cada grupo de alunos deveria identificar qual das moléculas apresentava carbono quiral e, consecutivamente, atividade óptica. Os grupos de alunos foram capazes de identificar o naproxeno como único analgésico com propriedades ópticas.

O naproxeno (Figura 7), selecionado neste estudo, foi adquirido em farmácia de manipulação local. Para a realização dos experimentos foi preparada em balão volumétrico, uma solução estoque de naproxeno de 5% (m/v) (12,5 g naproxeno/250 cm<sup>3</sup> de álcool etílico 99° GL).

Figura 7 - Estrutura molecular do naproxeno.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Para a condução dos experimentos relacionados à variação do ângulo de rotação em função da concentração de naproxeno, foram preparadas soluções de naproxeno nas concentrações de 2,0; 3,0 e 4,0% (m/v), com volume de 10 cm<sup>3</sup> cada uma, a partir da solução em estoque. Em se tratando dos experimentos relacionados ao caminho óptico, as medidas dos ângulos de rotação foram realizadas variando-se o comprimento da solução no tubo para 0,5; 0,7; 0,9 e 1,0 dm.

A calibração do polarímetro alternativo foi realizada, previamente, à execução dos experimentos, preenchendo-se o tubo com 10 cm<sup>3</sup> de álcool etílico 99° GL, ajustando-se a escala do transferidor, até não mais ser observada a transmissão da luz obtida com o auxílio de uma lanterna de celular e de papel celofane amarelo, sobreposto a essa luz. Por meio de um disco auxiliar em branco, posicionado abaixo do disco transferidor, foi feita a marcação do ponto de ângulo zero, correspondente à posição em que não havia passagem de luz. Após a calibração, esse ponto de referência foi mantido fixo até a realização das medições das rotações das soluções.

Gráficos correspondentes aos ângulos de rotação em função da variação da concentração e do comprimento do tubo polarimétrico foram construídos pelos alunos, utilizando Excel<sup>®</sup>. Os alunos refletiram sobre as variações das grandezas exploradas (concentração e comprimento de solução) em função dos valores de ângulos de rotação obtidos.

Para abordar o conceito de mistura racêmica e excesso enantiomérico (e.e.), foram preparadas soluções individuais de ibuprofeno e de (+)-glicose/(-)-glicose, respectivamente. As soluções de glicose foram combinadas em diferentes proporções para simular misturas com excesso enantiomérico, possibilitando medições de rotação óptica. Foram utilizados 5g de ibuprofeno, 10 g de (+)-glicose e 10 g de (-)-glicose,

dissolvidos em frascos diferentes com água destilada, até completar 100 cm<sup>3</sup> de solução, obtendo-se soluções a 5% (m/v); 10% (m/v) e 10% (m/v), respectivamente. Para as medições, foi adotado comprimento do tubo polarimétrico correspondente a 10 cm.

O resumo das atividades planejadas e aplicadas na pesquisa com a abordagem de SD estão demonstradas no Quadro 6 e 7.

Quadro 6 – Atividades planejadas.

<b>Atividades Planejadas</b>
1. Submissão do projeto ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFTM para análise e aprovação, bem como a solicitação de autorização da direção escolar para o desenvolvimento da pesquisa.
2. Apresentação do projeto de pesquisa aos alunos, envolvendo a estratégia pedagógica da experimentação investigativa no estudo do conteúdo de isomeria Óptica. Aplicação dos Termos de Consentimento e Assentimento Livre Esclarecido (TCLE e TALE).
3. Construção do polarímetro alternativo e planejamento experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Quadro 7 – Sequência didática (SD).

<b>Sequência Didática</b>		
<b>Atividades</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Número de Aulas (50min/Aula)</b>
1. Aplicação do Questionário 1 e 2 (Diagnóstico) e Atividade teórica para a compreensão dos conceitos fundamentais de isomeria óptica. Compreensão de moléculas quirais, diferenciação de enantiômeros.	Identificar conhecimentos prévios dos alunos e introduzir os conceitos teóricos de quiralidade, enantiômeros e isomeria óptica, com foco no reconhecimento de estruturas quirais.	2

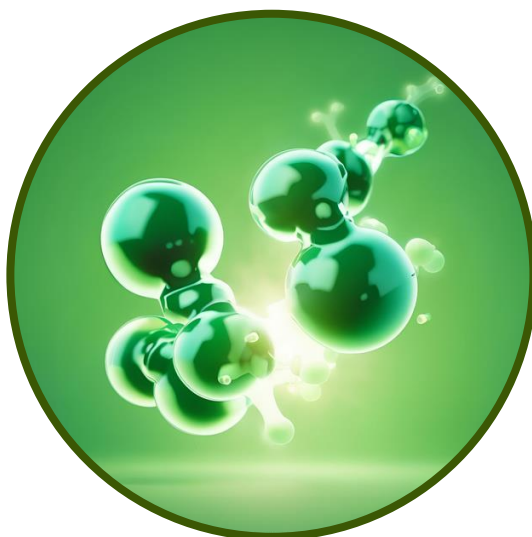
2. Atividade experimental para observação das propriedades da luz ordinária e plano polarizada. Compreensão de fenômenos relacionados à propagação da luz e da Lei de Malus.	Compreender o comportamento da luz polarizada e sua aplicação na detecção de atividade óptica, relacionando luz polarizada à estrutura molecular.	2
3. Atividade experimental investigativa para dedução da equação da polarimetria.	Estimular a formulação de hipóteses, observação de padrões e dedução empírica da equação da rotação óptica a partir de dados experimentais, desenvolvendo o raciocínio investigativo.	2
4. Determinação da rotação específica do medicamento (Naproxeno), a partir das etapas anteriores, construção de gráficos e análise dos coeficientes angulares.	Aplicar a equação deduzida para calcular a rotação específica de substância ativa, desenvolver competências de construção de gráficos e interpretação de resultados quantitativos.	2
5. Discussão sobre misturas racêmicas e excesso enantiomérico. Utilização de solução de ibuprofeno comercial e soluções de (+)-glicose e (-)-glicose para	Diferenciar misturas racêmicas de soluções com excesso enantiomérico a partir da análise experimental da rotação óptica.	1

verificação da mistura racêmica ou excesso enantiomérico.		
6. Aplicação do Questionário 3 para avaliação da aprendizagem dos alunos.	Avaliar o progresso conceitual e argumentativo dos alunos após a sequência didática, identificando avanços e dificuldades remanescentes.	1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.



# PRODUTO EDUCACIONAL



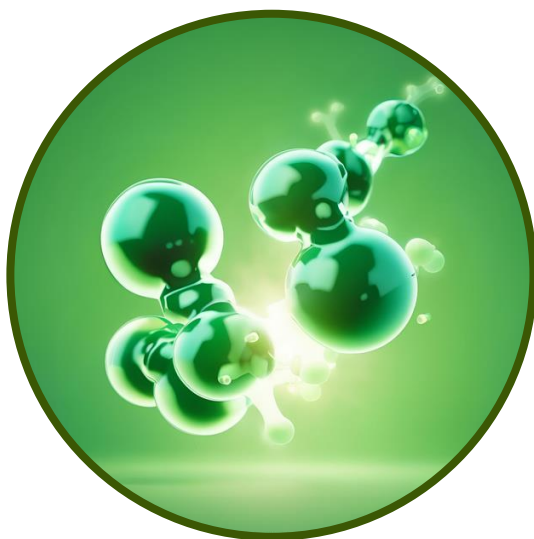
**Prof. Sullivan Augusto Biscassi**

**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rossi**

**Coorientador: Prof. Dr. Evandro Roberto Alves**

**Uberaba  
2025**

# **POLARÍMETRO ALTERNATIVO Parte 1**



**Prof. Sullivan Augusto Biscassi**

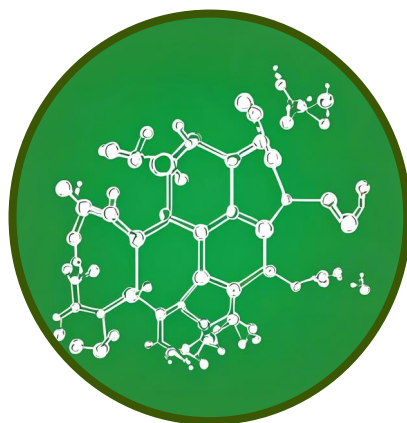
**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rossi**

**Coorientador: Prof. Dr. Evandro Roberto Alves**

**Uberaba  
2025**

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
TRIÂNGULO MINEIRO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS,  
NATURAIS E EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE  
NACIONAL**

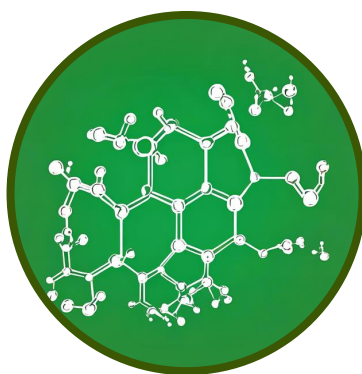
Produto Educacional resultante da dissertação de Mestrado realizada sob orientação do Prof. Dr. Alexandre Rossi, e coorientação Prof. Dr. Evandro Roberto Alves, apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.



# AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, com elevada consideração, à Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada, imprescindível à realização deste trabalho, bem como a todos os participantes que colaboraram significativamente na elaboração deste produto educacional.

Além disso, os autores reconhecem o apoio do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) E DA Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ambos foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste projeto, outroar idealizado e agora transformado em realidade.



Uberaba  
2025

# Sumário

• 1 APRESENTAÇÃO.....	6
• 2 PÚBLICO-ALVO.....	7
• 3 OBJETIVO GERAL.....	8
• 4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
• 5 MATERIAIS.....	10
• 6 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DO POLARÍMETRO.....	12
<i>Etapa 1. Retirada e preparo da película polarizada da tela de LCD.....</i>	<i>12</i>
<i>Etapa 2. Fixação da película polarizadora em tampas plásticas.....</i>	<i>14</i>
<i>Etapa 3. Preparação da estrutura do tubo do polarímetro.....</i>	<i>17</i>
<i>Etapa 4. Preparação do disco transferidor e do disco referência de medida.....</i>	<i>21</i>
• 7 FONTE DE LUZ DO POLARÍMETRO ALTERNATIVO.....	27
• 8 ROTEIRO EXPERIMENTAL: ESTUDO DA ATIVIDADE ÓPTICA COM POLARÍMETRO ALTERNATIVO.....	29
Preparo de soluções de Naproxeno.....	30
Montagem e Calibração do Polarímetro Alternativo.....	32
Estudo da concentração da solução de Naproxeno.....	35
Estudo do Caminho óptico do Naproxeno a 4%.....	37
• 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40

## APRESENTAÇÃO

Este material tem por objetivo orientar professores de Química na construção de um polarímetro alternativo com materiais de baixo custo e na sua utilização como recurso didático no ensino de isomeria óptica. Inspirado na dissertação "Ensino e Aprendizagem de Isomeria Óptica com

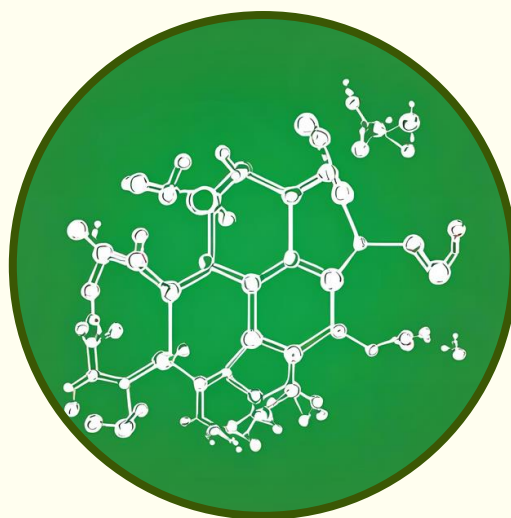
Uso de Polarímetro Alternativo na Perspectiva da Experimentação Investigativa", este produto educacional detalha as etapas de montagem e sugere possibilidades pedagógicas que promovem a integração entre teoria e prática.

A isomeria óptica é um conteúdo fundamental na Química Orgânica, relacionado à propriedade de determinadas moléculas de desviar o plano da luz polarizada. Esse fenômeno está diretamente associado à presença de moléculas quirais, que possuem um carbono assimétrico em sua estrutura. A experimentação investigativa, aliada à construção de um polarímetro alternativo, proporciona uma abordagem prática e acessível para o ensino desse conteúdo, especialmente em contextos educacionais que possam apresentar recursos laboratoriais limitados.



## Público - Alvo

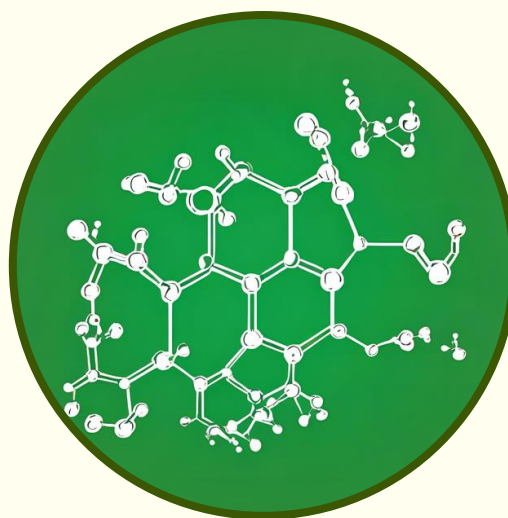
- Professores de Ciências e Química e que ministram aulas para alunos do ensino médio e de cursos técnicos em Química.





## Objetivos Gerais

- Promover a compreensão dos conceitos relacionados à isomeria óptica e desenvolver habilidades práticas e investigativas por meio da construção e da utilização de um polarímetro alternativo construído com matérias acessíveis e de baixo custo.

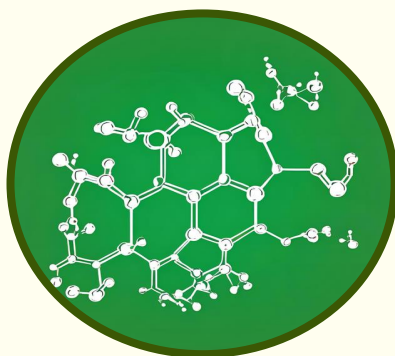






## Objetivos Específicos

- Entender os conceitos de quiralidade e isomeria óptica.
- Diferenciar misturas racêmicas de soluções com excesso enantiomérico.
- Construir um polarímetro alternativo utilizando materiais acessíveis e de baixo custo.
- Aplicar a técnica de polarimetria na análise de compostos quirais.
- Desenvolver habilidades de análise e interpretação de dados experimentais.



# Materiais

Quadro 1 – Materiais utilizados na construção do polarímetro alternativo.

Materiais	Obtenção e Utilização
Embalagem Tetra Pak®.	Obtido a partir de embalagens de suco ou leite descartadas e utilizadas como parte estrutura principal do polarímetro devido à sua rigidez e resistência a líquidos.
Película polarizada.	Obtida de telas de TV de LCD descartadas. Utilizada para criar os filtros polarizadores.
Tampas plásticas de embalagens Tetra Pak®.	Encontradas em embalagens de suco ou leite. Funcionam como elementos de vedação e suporte para as partes móveis do polarímetro.
Cola instantânea (multiuso, superbonder, etc.).	Encontrada em papelarias e supermercados. Utilizada para a fixação de peças, proporcionando secagem e montagem rápida.
Cola de silicone.	Encontrada em papelarias e estabelecimentos de materiais de construção. Aplicada nas junções para vedação, garantindo que não ocorra vazamento da solução analisada.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

# Materiais

Cola Tekbond® T6000.	Encontrada em papelaria, supermercados e estabelecimentos de materiais de construção. Aplicada para melhor colagem da folha de acetato na região interna da caixa Tetra Pak®.
Folha de acetato transparente.	Encontrado em papelaria. Utilizado na criação da coluna de visualização, que permite observar a altura da solução testada de maneira clara. O acetato pode ser encontrado e retirado de caixas de brinquedos ou comprado em papelarias.
Papel cartão.	Encontrado em papelaria. Utilizado para impressão de um transferidor que será fixado ao polarímetro, permitindo a marcação precisa dos ângulos de rotação. Também serve para criar o disco de apoio onde as medidas serão feitas.
Papel celofane amarelo.	Encontrado em papelaria. Disposto sobre a lanterna do celular para filtrar a luz branca e gerar uma luz monocromática amarela com comprimento de onda 589 nm, que é essencial para a análise da rotação óptica.
Papel A4.	Encontrado em papelaria e supermercados. Utilizado para impressão da escala de medidas.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

# ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DO POLARÍMETRO

## 1. Retirada e preparo da película polarizada da tela de LCD

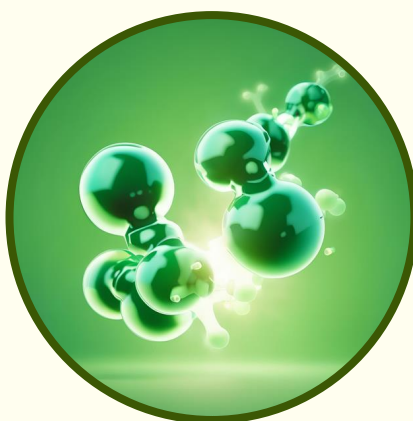
Para remover a película polarizada da tela de TV LCD, que se encontra aderida sobre uma superfície de vidro, foi aplicado um pouco de solvente (thinner®) sobre a resina (cola). Com o auxílio de uma pequena espátula plástica, foi feita a separação da película polarizada do vidro cuidadosamente, evitando danificá-la. Vale ressaltar a importância dos cuidados com possíveis trincas na tela de vidro, devido ao risco de cortes, bem como com o solvente durante o seu manuseio. Para tanto, foram utilizadas luvas e máscara, e o trabalho foi realizado em ambiente ventilado. Nesse procedimento, a película ainda ficou com grande quantidade de cola aderida em sua superfície. Para a remoção completa da cola da película polarizadora, houve a necessidade de mergulhá-la em uma bacia contendo thinner® por aproximadamente 10 minutos (FIGURA 1).

Após esse período, a película foi lavada com água e posta para secar. Esse processo endureceu a cola, facilitando a sua remoção. Com a espátula plástica, a cola residual foi retirada completamente da película, com muita cautela para não danificá-la.

FIGURA 1 - Remoção e limpeza da película polarizada.



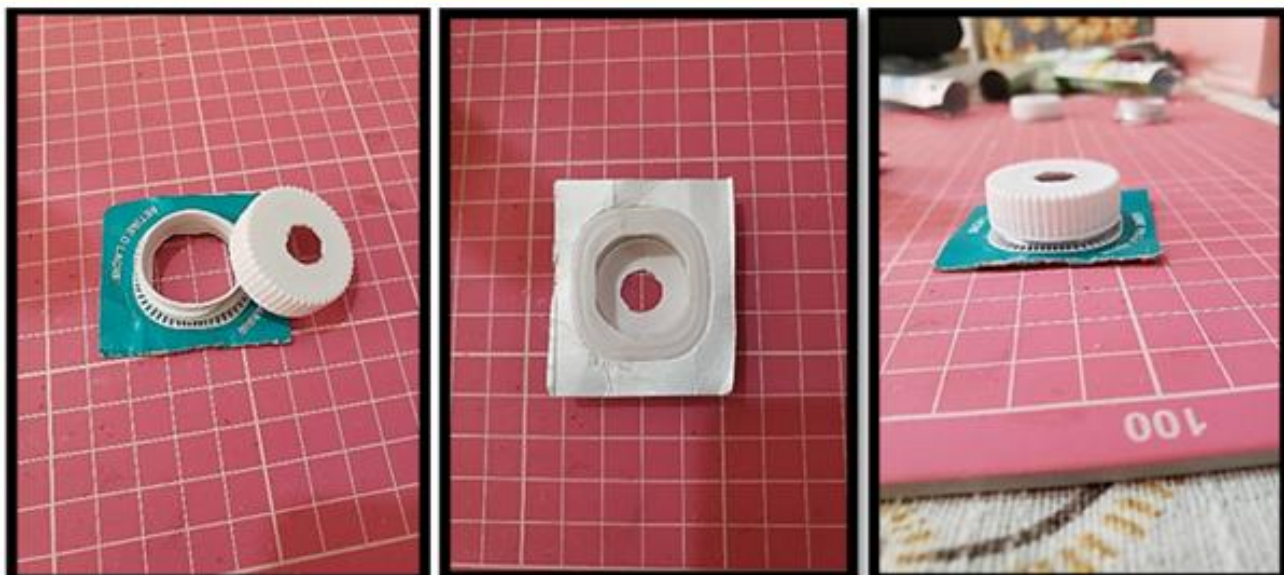
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.



## 2. Fixação da película polarizadora em tampas plásticas

Para dar suporte à película polarizadora obtida na Etapa 1, foram utilizadas tampas plásticas de embalagem de caixa Tetra Pak®. Duas tampas plásticas foram necessárias, sendo uma para cada extremidade do tubo polarizador. Um furo com diâmetro de 1cm foi feito no centro de cada tampa plástica (FIGURA 2). (Sugestão: Confeccione peças extras e reserve, caso haja perdas no processo de colagem)

FIGURA 2 - Preparo das tampas de vedação do tubo.

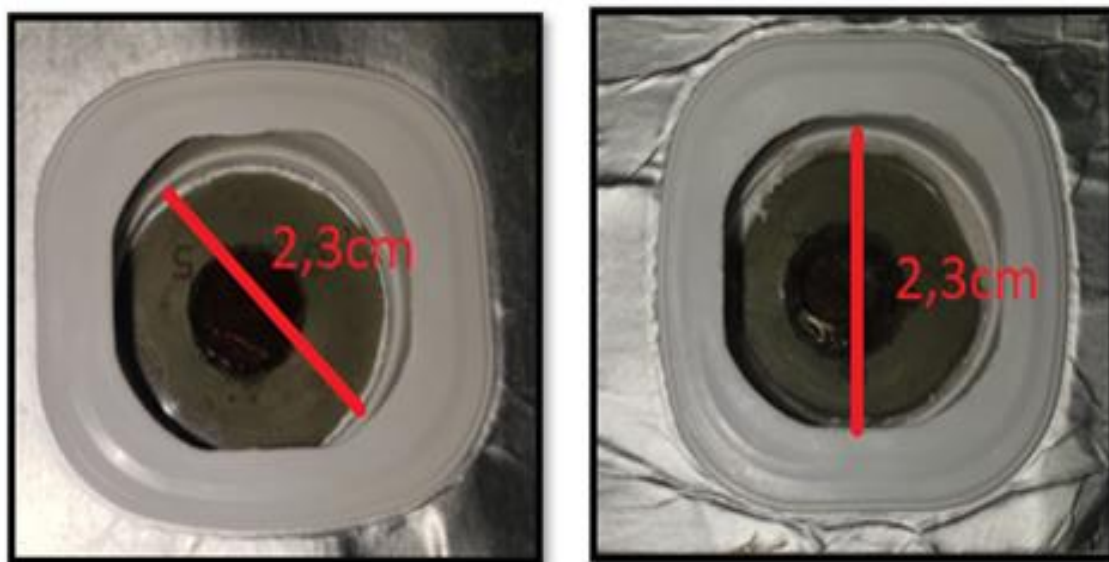


Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.



Utilizando-se a película polarizada retirada da tela de TV LCD, recortou-se alguns círculos, em torno de 2,3 cm de diâmetro, de modo que couberam na parte interna da tampa plástica, como indicado na FIGURA 3. Com cuidado, aplicou-se cola multiuso em toda extensão do orifício feito na tampa plástica. Em seguida, a película polarizadora foi posicionada e pressionada, buscando-se vedar completamente o orifício da tampa plástica, e evitar vazamento de líquidos. Nesse momento, foi importante observar que não pode haver cola sobre a película polarizadora, a fim de não bloquear a passagem da luz.

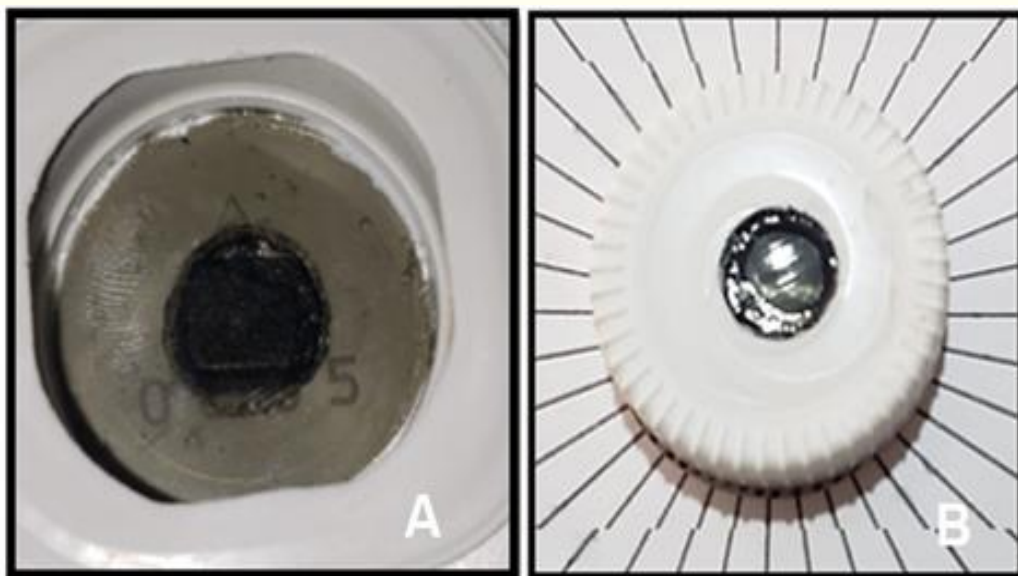
FIGURA 3 - Inserção das películas polarizadas na tampa.



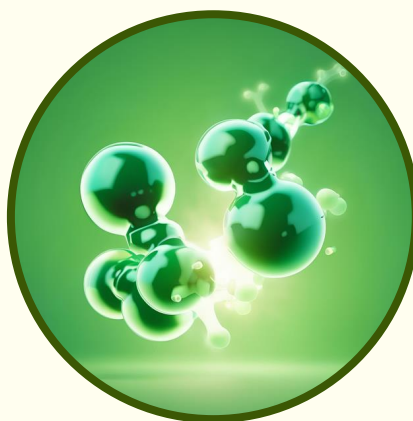
Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

A montagem da película polarizadora na tampa plástica pode ser observada na FIGURA 4.

FIGURA 4 - Inserção da película polarizada nas tampas. Vistas das tampas: A - Parte inferior e B - Parte superior.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

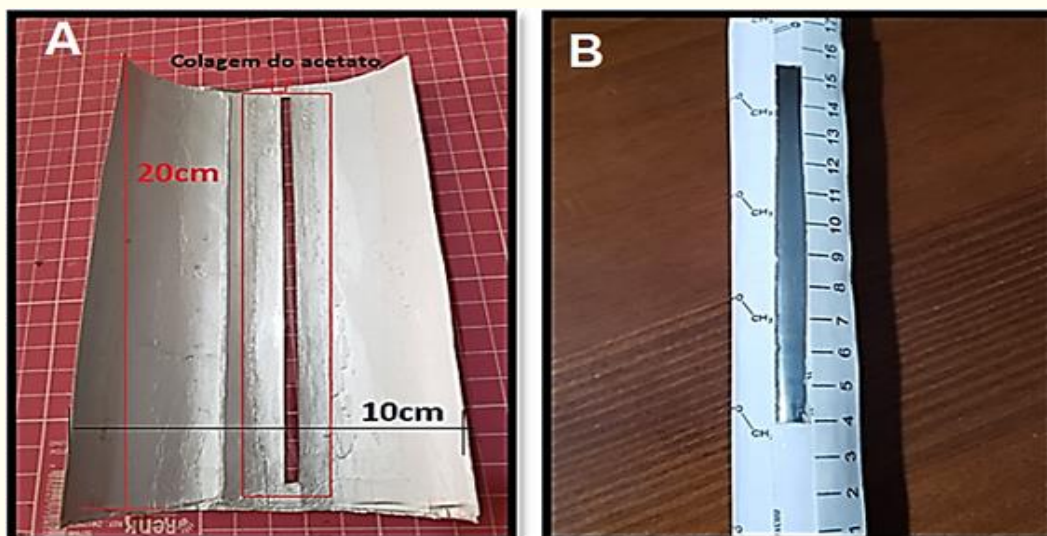




### 3. Preparação da estrutura do tubo do polarímetro

Para preparo do tubo polarimétrico, cortou-se uma caixa de leite Tetra Pak® nas dimensões de 20 cm de altura e 10 cm de comprimento, de maneira que formasse uma estrutura cilíndrica ao dobrar. Fez-se uma abertura de aproximadamente ,6 cm de largura, utilizando estilete e régua, deixando de 1 a 3 cm de distância em cada uma das extremidades. Nessa abertura, colou-se uma fita de plástico de acetato pelo lado interno da caixa e deixou-se reservado até a secagem completa da cola, como mostra a FIGURA 5A. É importante colar uma fita de tamanho superior a abertura, para evitar vazamentos da solução que será analisada. A cola mais eficaz nesse processo de colagem da folha de acetato foi a Tekbond® TM6.

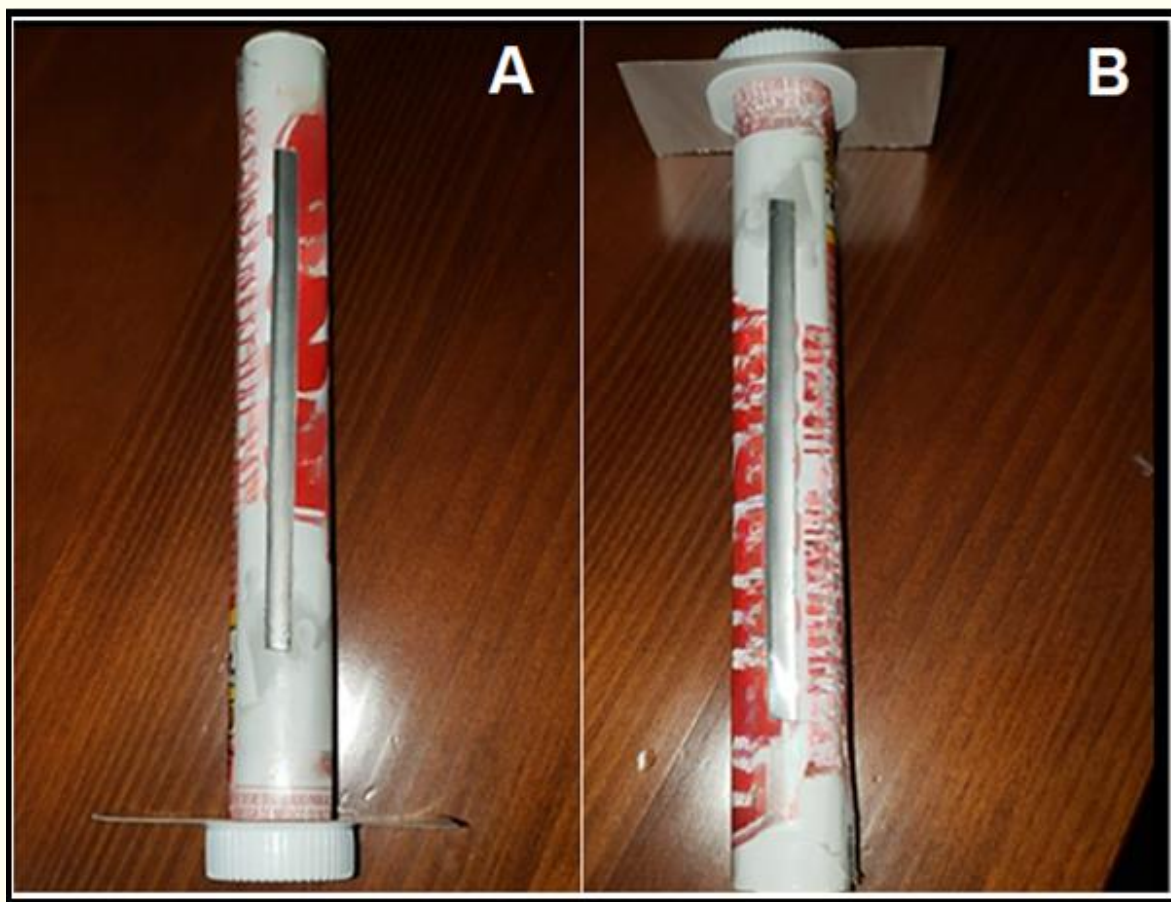
FIGURA 5 - Esquema de produção do tubo do polarímetro. A - Recorte da embalagem Tetra Pak® e B - Embalagem dobrada no formato de cilindro, destacando-se a escala de medidas adaptada.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Após a secagem do plástico de acetato, enrolou-se o recorte (A) da FIGURA 5 em forma de tubo (B), de maneira que o seu diâmetro fosse suficiente para moldar e encaixar na estrutura (A) da FIGURA 4. A estrutura provisória do polarímetro alternativo está demonstrada na FIGURA 6 (A e B). Para evitar vazamento da solução de análise pela tampa plástica inferior é importante que o encaixe entre ela e o tubo polarimétrico seja perfeito, antes da aplicação da cola.

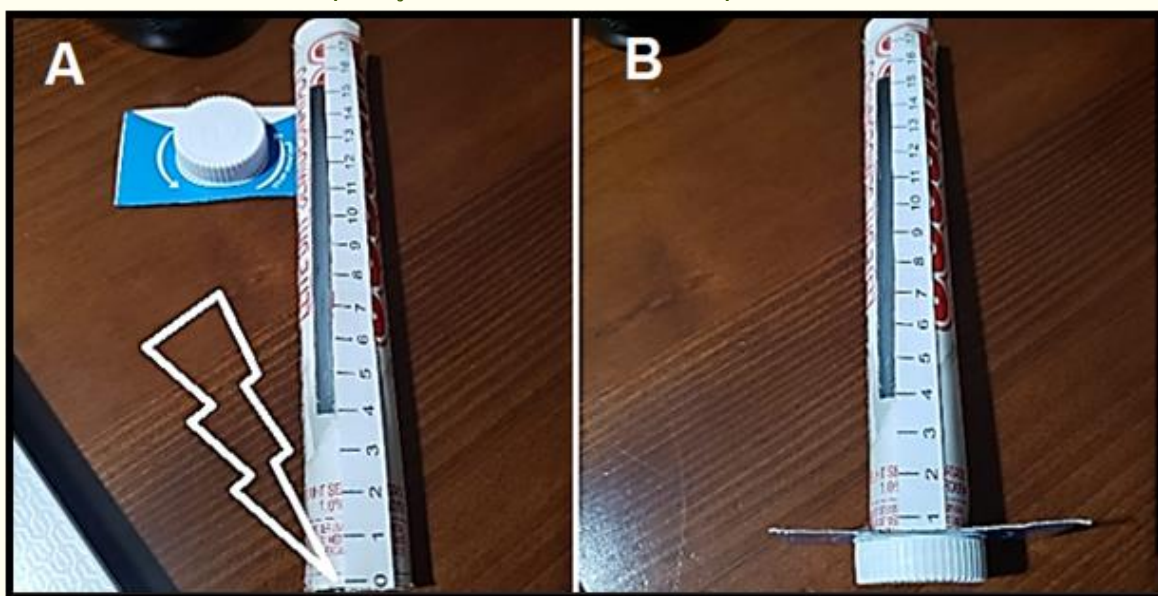
FIGURA 6 - Tubo polarímetro e encaixe da tampa plástica nas posições.  
A - Inferior e B - Superior.



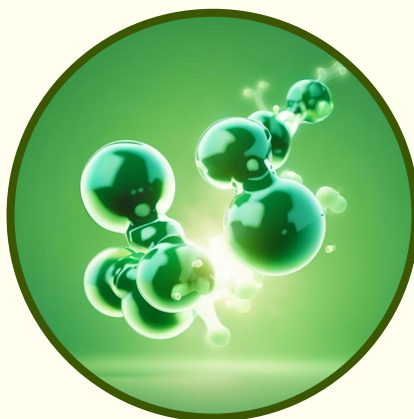
Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Antes de selar permanente a tampa inferior, foi colada uma escala de medidas de zero a 17 cm impressa em papel A4. Essa escala serviu para a realização das medidas de comprimento ocupado pela solução de análise. Importante observar que o início do tubo polarimétrico deve coincidir com o ponto zero da escala, conforme demonstrado na FIGURA 7.

FIGURA 7 - Inserção da escala para medida do comprimento de solução no tubo do polarímetro. A - Destaque para a origem da escala de medida e B - Tampa encaixada na posição inferior do tubo do polarímetro alternativo.



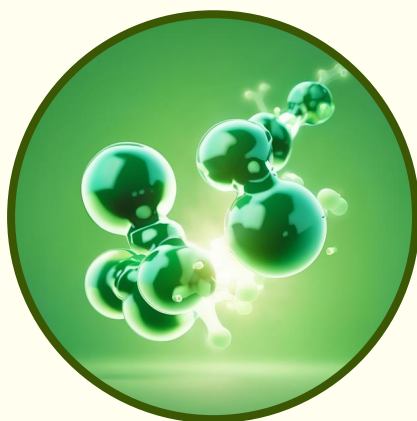
Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.



Após inserção da escala, foi realizada a fixação definitiva da tampa inferior do tubo polarimétrico. A vedação das extremidades externas foi realizada com cola de silicone para evitar vazamentos. A tampa plástica superior apresenta uma configuração diferente da inferior.

Ela serviu de suporte para o disco transferidor que realiza as medidas de rotação da luz plano polarizada em ângulos durante a análise das soluções.

Antes dela, é necessário inserir um disco de papel em branco, fixo, para servir de referência durante as medidas dos ângulos de rotação. A tampa plástica superior deve apresentar mobilidade, considerando que é por meio dela que as medidas de rotação da luz plano polarizada são realizadas, e também é por onde ocorre a inserção das soluções de análise no tubo polarimétrico.

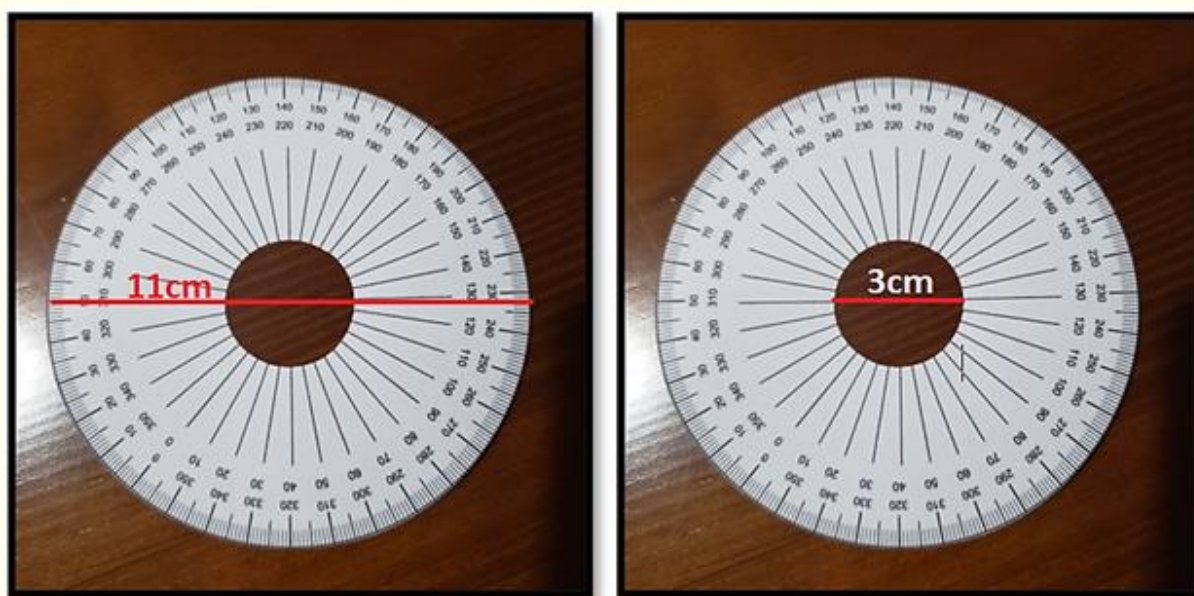




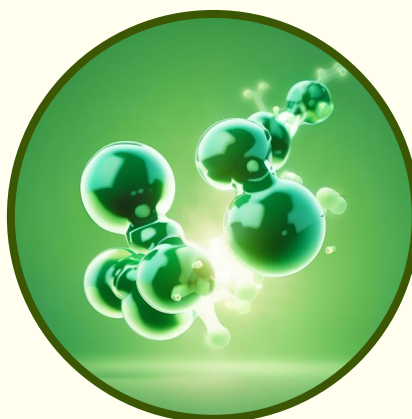
#### 4. Preparação do disco transferidor e do disco referência de medida

Em papel cartão é necessário imprimir um disco transferidor com diâmetro de 11 cm, para marcar ângulos de 0 a 360°. No disco impresso, deve-se fazer um furo central com diâmetro de 3 cm. O disco pronto está mostrado na FIGURA 8.

FIGURA 8 – Disco transferidor impresso em papel cartão.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.



Após a etapa descrita acima, inseriu-se um recorte da embalagem Tetra Pak® contendo a rosca da tampa plástica no orifício central do disco transferidor, sendo que esse conjunto (rosca e disco transferidor) deve ser fixado de modo a não permitir qualquer giro entre si (FIGURA 9).

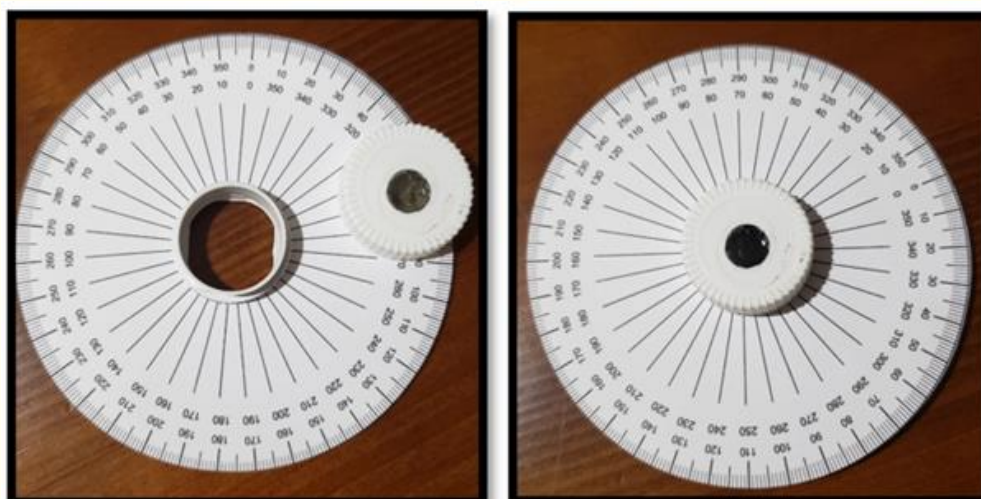
FIGURA 9 – Base da tampa plástica superior ajustada no disco transferidor.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

A tampa plástica deve ser adaptada à rosca inserida no disco transferidor, tomando-se o cuidado para não amassar, conforme mostrado na FIGURA 10.

FIGURA 10 – Tampa plástica superior ajustada ao conjunto rosca plástica e disco transferidor.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Na parte superior do polarímetro alternativo e abaixo do disco transferidor, é necessário a inserção do disco referência de medida (FIGURA 13 A). Ele servirá para anotações das variações dos ângulos de rotação da luz plano polarizada das soluções de análise, bem como, de apoio para o disco transferidor. Para a criação do disco referência é necessário utilizar papel cartão e cortar um disco com 12,5 cm de diâmetro e, no centro, produzir um orifício com diâmetro médio de 2,5 cm, conforme pode ser observado na FIGURA 11. Este disco referência de medida deve ter diâmetro um pouco maior em relação ao do disco transferidor. O orifício central permitiu o seu encaixe no tubo polarímetro.

FIGURA 11 – Preparação do disco referência de medida.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Após confecção do disco referência de medida com 12,5 cm de diâmetro, um novo recorte da embalagem Tetra Pak® contendo a rosca da tampa plástica deve ser colada no orifício central (FIGURA 12). Esse procedimento permitiu um melhor encaixe e sustentação do disco referência de medida no tubo polarimétrico.

FIGURA 12 – Disco referência de medida.

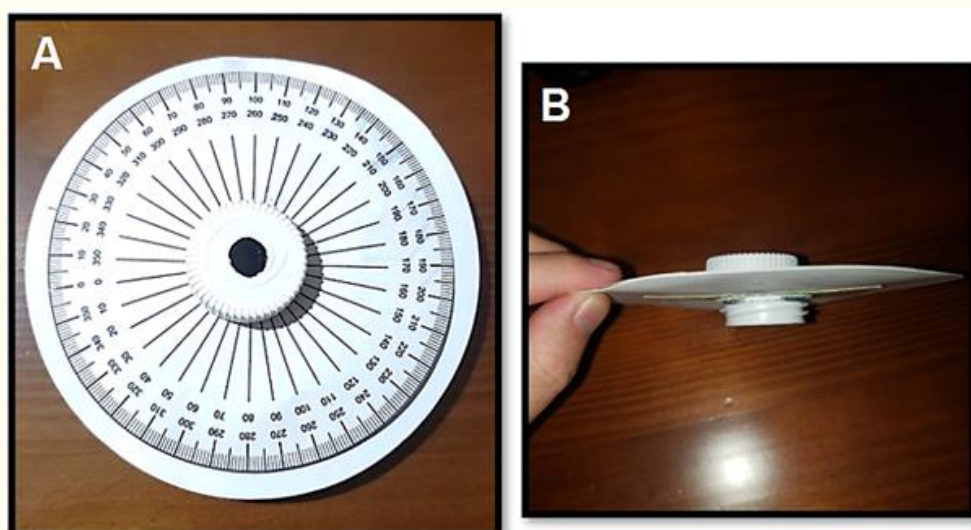


Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Após confecção dos dois discos (transferidor e de referência de medida), a disposição dos mesmos deverá ser semelhante às imagens exibidas da FIGURA 13 (A e B).

FIGURA 13 – Discos referência de medida e transferidor.

A - Visão frontal e B - Visão lateral.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.



A montagem da parte superior do tubo polarimétrico deve iniciar com a inserção, primeiramente, do disco referência de medida, conforme observado na FIGURA 14. Na sequência, é posicionado o disco transferidor no tubo polarimétrico (FIGURA 15A), sobrepondo o mais próximo possível do disco referência (FIGURA 15B). Após o posicionamento correto dos dois discos é necessário retirar o disco transferidor e colar o disco referência de medida no tubo polarimétrico, com auxílio de cola multiuso, para que a sua fixação seja definitiva, visto que o mesmo não poderá mais ser movido durante a realização das medidas do ângulo de rotação da luz plano polarizada. Esse procedimento é importante para isolar uma das variáveis no processo de medida de rotação das soluções isoméricas. Após fixação definitiva do disco referência de medida, reposicionou o disco transferidor.

FIGURA 14 – Tubo do polarímetro e inserção do disco referência de medida.

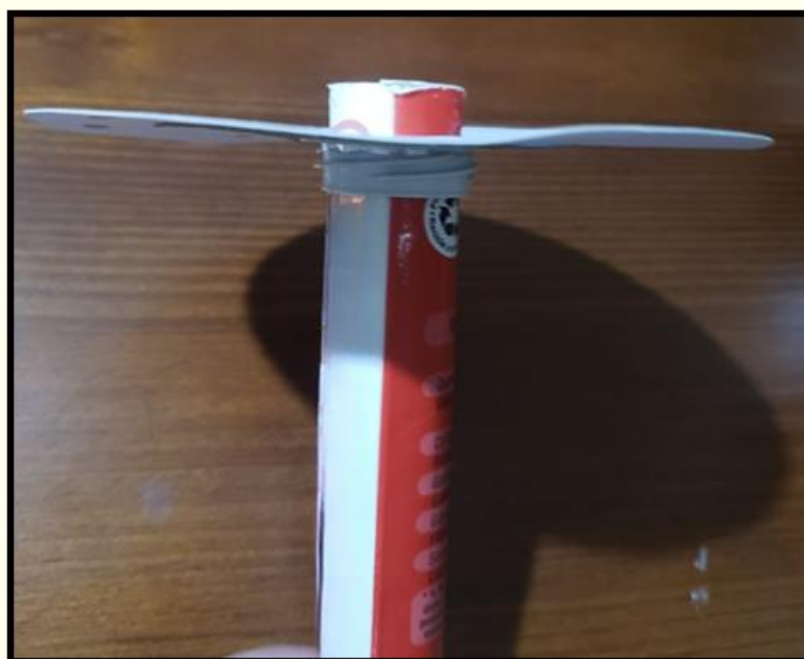
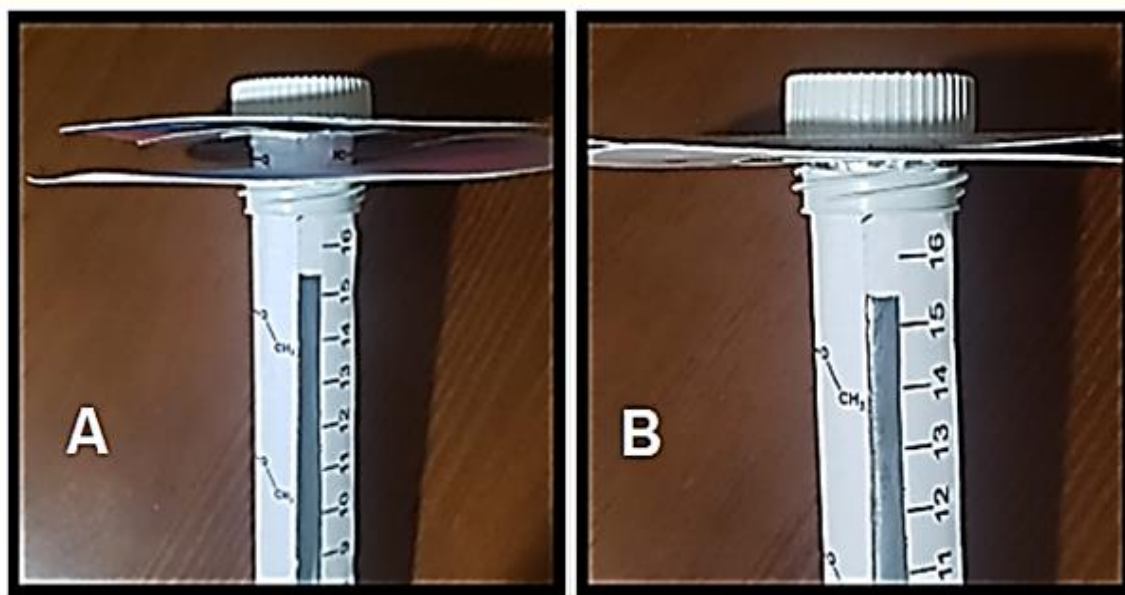


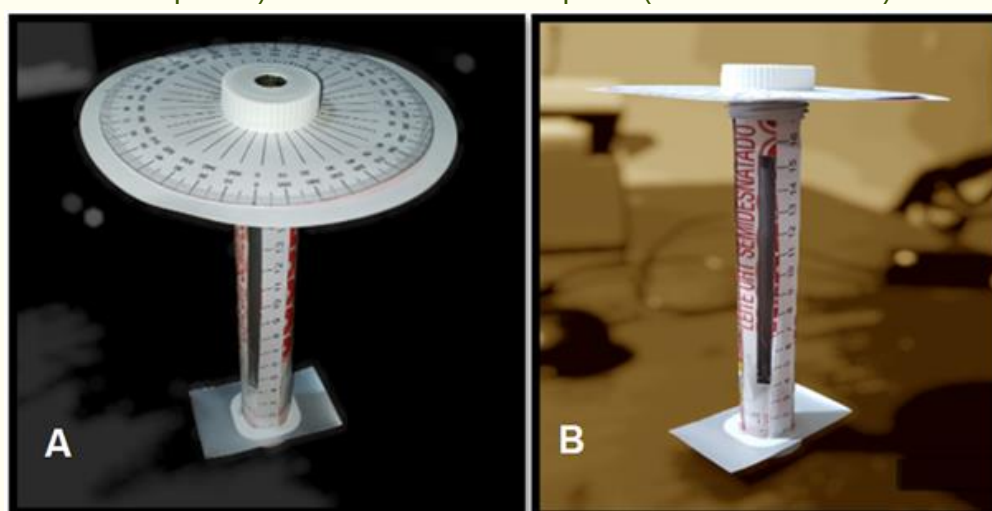
FIGURA 15 - Disposição do disco transferidor e do disco referência de medida no tubo polarizador. A- Encaixe dos discos de medida e B- Posicionamento entre os discos.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Depois de montar todas as partes do polarímetro alternativo, devem ser feitos os ajustes finais nas peças móveis, bem como certificar de que o sistema não apresente vazamentos, utilizando-se água para esse procedimento. Após execução das etapas descritas acima, o polarímetro alternativo pronto deverá ter estrutura semelhante as observadas na FIGURA 16 (A e B).

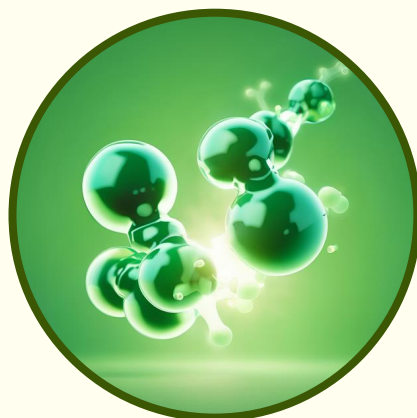
FIGURA 16 - Polarímetro alternativo completo. A-Polarímetro Completo (Visão Superior). B- Polarímetro Completo (Visão Horizontal).



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

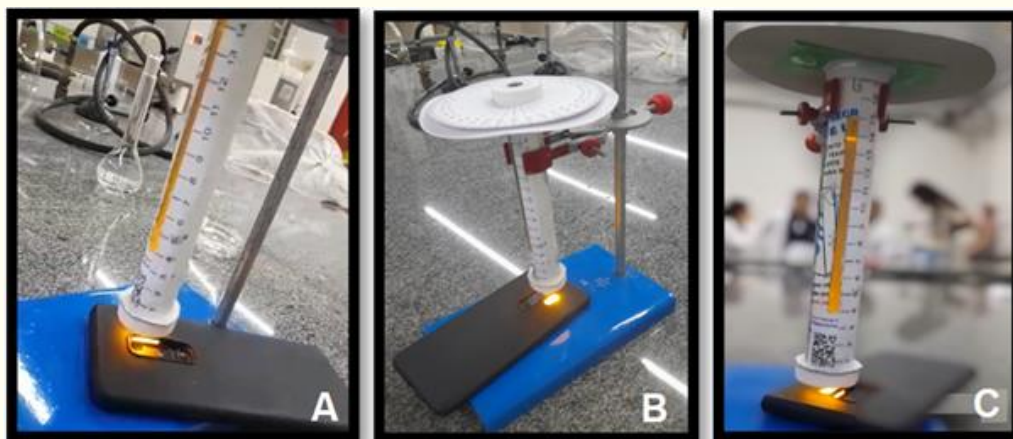
# Fonte de Luz do Polarímetro alternativo

Como fonte de luz para o polarímetro alternativo, utilizar a lanterna de um aparelho celular. Para obter a emissão da radiação amarela emitida pelo sódio (comprimento de onda 589 nm), utilizar uma folha de papel celofane na cor amarela, com dimensões de 9 x 6 cm, dobrada em 5 camadas, sendo, posteriormente, sobreposta à lâmpada da lanterna e fixada pela própria capa protetora do celular. Com o tubo do polarímetro fixado no suporte universal na posição vertical, a fonte de luz deve ser posicionada na parte inferior do tubo polarimétrico. Como alternativa ao suporte universal, pode ser utilizado uma base de garrafa PET contendo cimento e uma haste de madeira ou metal posicionada verticalmente para a sustentação do polarímetro. Caso o suporte apresente instabilidade, é possível reforçar a base fixando-a em uma bancada com fita dupla face.<sup>16</sup>

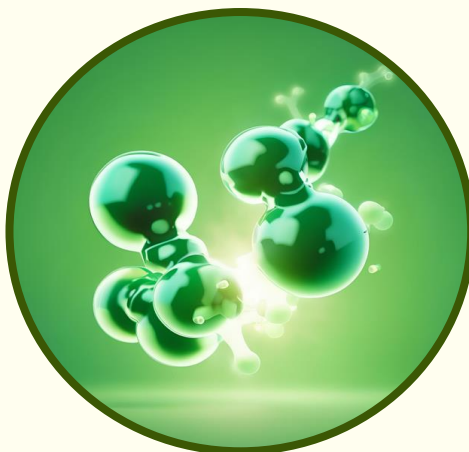


A FIGURA 17 (A, B e C), demonstra o posicionamento do polarímetro no suporte universal. A aplicação da luz na parte inferior do polarímetro permite que essa seja incidida na solução de análise e nas películas polarizadoras.

FIGURA 17 - Posicionamento do celular e do polarímetro alternativo. A- Posicionamento do Tubo; B-Posicionamento do Celular e da Luz na base inferior do Tubo e C-Demonstração de Análise da Solução.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.





# ROTEIRO EXPERIMENTAL: ESTUDO DA ATIVIDADE ÓPTICA COM POLARÍMETRO ALTERNATIVO



Imagem gerada por IA

A experimentação química permite abordar a variação do ângulo de rotação da luz plano polarizada em função da concentração de solução, bem como do comprimento do caminho óptico. A abertura na lateral do tubo polarimétrico feita com folha de acetato, juntamente com a escala milimétrica planejada para a construção do polarímetro, permitiram medir o comprimento do caminho óptico da solução de Naproxeno e realizar o estudo da variação do comprimento do tubo.

## Sugestão

- Para aplicação da experimentação de isomeria óptica e polarimetria em sala de aula ou em um laboratório químico, caso a escola disponha desse espaço, pode-se utilizar o medicamento Naproxeno ( $M.M. = 230,26 \text{ g/mol}$ ), um analgésico encontrado em farmácia de manipulação.
- Para a realização dos experimentos, os alunos podem ser divididos em grupos, cujo número de integrantes dependerá da quantidade de polarímetros construídos e do total de alunos na turma.

# Etapas

## 1. PREPARO DE SOLUÇÕES DE NAPROXENO



### Objetivo da Etapa

- Preparar uma solução estoque e realizar diluições em diferentes concentrações para análise da atividade óptica.



### Materiais e Reagentes

- Reagentes: Naproxeno, Etanol (99,0° GL)
- 01 balão volumétrico de 100,00 cm<sup>3</sup>
- 03 balões volumétricos de 50,00 cm<sup>3</sup>
- 01 béquer de 100 cm<sup>3</sup>
- 01 bastão de vidro
- 01 funil
- 01 balança

## Procedimento:

A. Prepare 100,00 cm<sup>3</sup> de uma solução estoque de Naproxeno 5% em etanol 99%.

B. A partir da solução em estoque de Naproxeno, preparar soluções de 50,0 cm<sup>3</sup> nas seguintes concentrações, descritas no quadro abaixo:

Quadro 2 - Soluções de Naproxeno de diferentes concentrações, em balões de 50,00 cm<sup>3</sup>.

CONCENTRAÇÕES	DILUIÇÃO	VOLUME (cm <sup>3</sup> )
5%	Solução Estoque	-
4%	$5\% \times V = 4\% \times 50,00 \text{ cm}^3$	40,00
3%	$5\% \times V = 3\% \times 50,00 \text{ cm}^3$	30,00
2%	$5\% \times V = 2\% \times 50,00 \text{ cm}^3$	25,00

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

## 2. MONTAGEM E CALIBRAÇÃO DO POLARÍMETRO



### Objetivos da Etapa

- Montar o polarímetro alternativo e realizar sua calibração com etanol 99%.



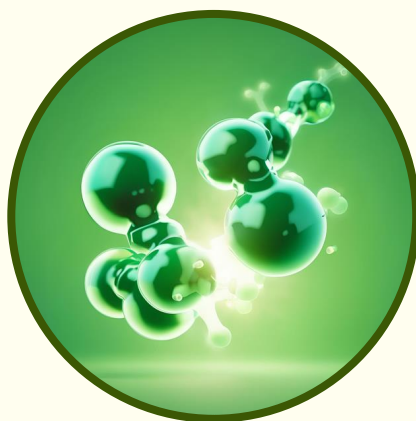
### Materiais

- Celular com lanterna
- Papel celofane amarelo (9x6 cm)
- 01 suporte universal ou outro suporte alternativo
- 02 garras e 02 mufas ou itens alternativos
- 01 proveta de 10,00 cm<sup>3</sup>
- Água destilada

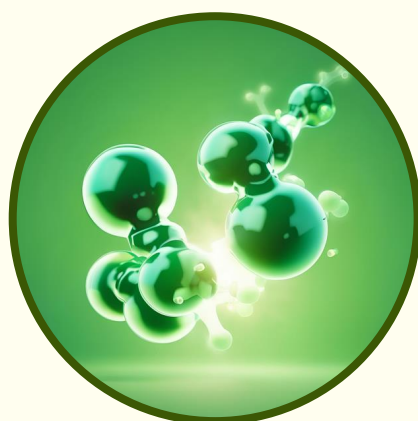


## Procedimento:

- Dobre o papel celofane amarelo três vezes sobre si mesmo, alinhando cuidadosamente as bordas, de forma a obter um total de oito camadas sobrepostas.
- Utilize o suporte universal para montar o tubo do polarímetro na posição vertical, fixando-o com o auxílio de duas garras e mufas. A extremidade aberta do tubo deve ficar voltada para cima. Na parte superior do tubo, encaixe primeiramente o disco branco, seguido do disco com o transferidor, mantendo-os bem alinhados com o corpo do tubo.
- Posicione o celular com a lanterna acesa, já coberta com o papel celofane, na base do suporte universal, alinhado com a extremidade inferior do tubo do polarímetro.
- Retire temporariamente o disco com o transferidor e adicione água destilada ao tubo até atingir a marca de 10 cm. Observe o nível pelo menisco da solução, utilizando a fenda de acetato transparente e a escala gravada no tubo.



- Com a lanterna acesa, recoloque o disco com o transferidor sobre o tubo. Gire-o lentamente até que a luz polarizada cesse completamente sua transmissão pelo sistema - esse é o ponto de extinção da luz.
- Nesse exato ponto, faça uma marca com lápis no disco branco indicando o alinhamento correto. Este será o ponto de **calibração** do polarímetro.
- **Atenção:** após a calibração, o disco branco não deve ser mais girado em relação ao tubo. Ele serve como referência fixa para todas as medições subsequentes.



### 3. ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE NAPROXENO



#### Objetivos da Etapa

- Investigar o efeito da concentração de Naproxeno sobre a rotação da luz polarizada.

#### Procedimentos:

- Preencha o tubo do polarímetro com solução de naproxeno 2% até a marca de 10 cm de comprimento. Esse procedimento é feito observando o menisco da solução por meio da fenda de acetato transparente e a escala de medidas presente no corpo do tubo do polarímetro.
- Rotacionar o disco com o transferidor até que não seja observada a transmitância de luz pelo filme polarizador.
- Marcar no disco branco o ponto onde indica 0 graus.
- Girar o disco do transferidor até observar a transmitância máxima de luz, por meio do filme polarizador e anotar o valor do ângulo obtido por meio do transferidor.
- Seguir os procedimentos anteriores (1, 2, 3 e 4) para as demais soluções de naproxeno, seguindo a ordem da solução menos concentrada para a mais concentrada.
- Anotar o valor do ângulo observado no Quadro 3 a seguir:

Quadro 3 - Estudo da concentração de naproxeno em função do desvio da luz plano polarizada,  $L = 10,0$  cm.

CONCENTRAÇÃO NAPROXENO (%)	DESVIO DA LUZ (GRAUS)
2	
3	
4	
5	
Desvios foram destrógiros ou levógiros?	Resposta:
Qual a relação de grandeza entre a concentração de naproxeno e desvio da luz?	Resposta:

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

**Importante:** Não descarte a solução de Naproxeno 4%. Após a medida do ângulo de rotação da luz plano polarizada, voltar a solução para o balão volumétrico.

## 4. ESTUDO DO CAMINHO ÓPTICO COM NAPROXENO 4%



### Objetivos da Etapa

- Analisar o efeito do comprimento do caminho óptico na rotação da luz polarizada.

### Procedimentos:

- Preencha o tubo do polarímetro com solução de Naproxeno 4% até a marca de 5,0 cm de comprimento. Esse procedimento é feito observando o menisco da solução por meio da fenda de acetato transparente e a escala de medidas presente no corpo do tubo do polarímetro.
- Posicionar a escala 0 graus na marca de calibração marcada no disco branco, de modo que não haja transmitância de luz.
- Girar o disco do transferidor até observar a transmitância máxima de luz, por meio do filme polarizador.
- Seguir os procedimentos anteriores para outros comprimentos de soluções conforme o Quadro 4. Anotar o valor do ângulo observado no quadro a seguir:

Quadro 4. Estudo da atividade óptica de naproxeno em função do caminho óptico. Naproxeno 5%.

COMPRIMENTO DO TUBO (cm)	DESVIO DA LUZ (GRAUS)
5,0	
7,0	
9,0	
10,0	Dado obtido no procedimento do item 3
Qual a relação de grandeza entre o caminho óptico e desvio da luz?	Resposta:

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

- Solicitar que os grupos de alunos construam um gráfico relacionado os ângulos de rotação obtidos em função da variação da concentração de Naproxeno, utilizando Excel®.
- Determinar o coeficiente angular da curva obtida, cujo valor obtido corresponde à rotação específica do Naproxeno, de acordo com a equação da polarimetria:

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{L \times C}$$

onde:

- $[\alpha]$  = rotação específica (em graus),
- $t$  = temperatura à 25°C,
- $D$  = Comprimento de onda da luz utilizada na medida,
- $L$  = Comprimento do tubo em dm,
- $C$  = Concentração (g/cm<sup>3</sup>).
- Dado: O valor teórico da rotação específica de Naproxeno foi o de +66 graus (Merck, 1996\*).

\***MERCK & CO., Inc.** *The Merck Index: an encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals*. 12. ed. Whitehouse Station, NJ: Merck, 1996.

Questão para discussão:

- Qual a relação entre o comprimento do caminho óptico e o desvio da luz?

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A construção e a aplicação do polarímetro alternativo demonstram a possibilidade de promover o ensino de conceitos Isomeria Óptica mesmo em contextos com limitações estruturais. Mais do que um guia técnico, este material propõe uma mudança na prática docente: valoriza a experimentação como elo entre teoria e prática, incentivando o protagonismo estudantil e a aprendizagem ativa.
- O polarímetro alternativo permite que os alunos visualizem a rotação óptica de substâncias quirais de forma concreta. Este recurso didático contribui para que conceitos abstratos se tornem acessíveis e contextualizados. A possibilidade de observar, medir e interpretar os desvios da luz plano polarizada fortalece a compreensão dos conteúdos e estimula a curiosidade científica. Assim, a aprendizagem torna-se mais efetiva, pois nasce da ação, da investigação e da reflexão.

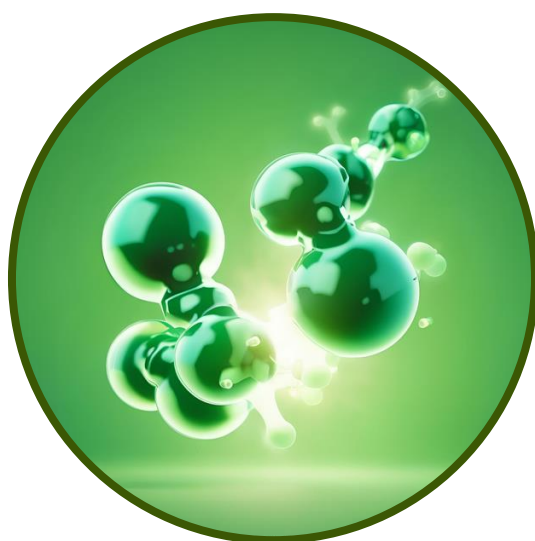
## Conclusão

A proposta é inteiramente replicável, utilizando materiais de baixo custo e amplia o acesso à ciência experimental podendo ser adaptada a diferentes realidades escolares. Espera-se que este produto educacional sirva como ponto de partida para outras experiências investigativas, fortalecendo uma cultura de ensino-aprendizagem pautada na criatividade, na autonomia e no compromisso com a formação dos alunos.





# **ISOMERIA ÓPTICA E POLARIMETRIA (Parte 2) SEQUÊNCIA DIDÁTICA**



**Prof. Sullivan Augusto Biscassi**

**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rossi**

**Coorientador: Prof. Dr. Evandro Roberto Alves**

**Uberaba  
2025**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
TRIÂNGULO MINEIRO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS,  
NATURAIS E EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE  
NACIONAL**

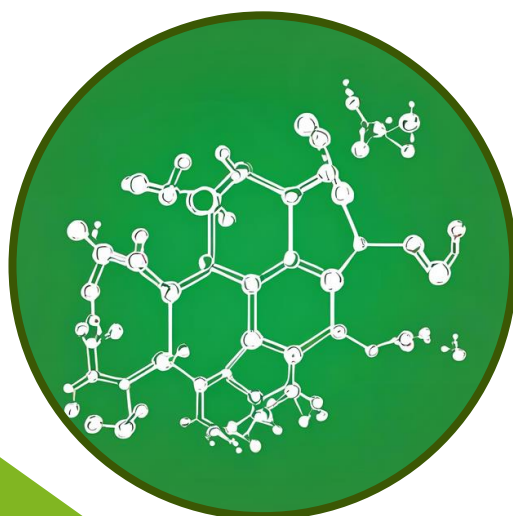
Produto educacional (Sequência Didática) resultante da Dissertação realizada sob a orientação do Prof. Dr. Alexandre Rossi e coorientação do Prof. Dr. Evandro Roberto Alves, apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI), área de concentração Química, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

Uberaba  
2025

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, com elevada consideração, à Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada, imprescindível à realização deste trabalho, bem como a todos os participantes que colaboraram significativamente na elaboração deste produto educacional.

Além disso, os autores reconhecem o apoio do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) E DA Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ambos foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste projeto, outroar idealizado e agora transformado em realidade.



# Sumário

• 1 APRESENTAÇÃO .....	5
• 2 ATIVIDADE 1 - APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO .....	7
• Procedimentos: .....	7
• 3 ATIVIDADE 2 - AULA EXPOSITIVA E DIALOGADA: COMPREENDENDO A ISOMERIA ÓPTICA E A POLARIMETRIA.....	9
• <i>Procedimentos:</i> .....	10
• 4 ATIVIDADE 3 - EXPERIMENTAÇÃO PARA OBSERVAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA LUZ ORDINÁRIA E PLANO POLARIZADA. COMPREENSÃO DE FENÔMENOS RELACIONADOS À PROPAGAÇÃO DA LUZ E DA LEI DE MALUS .....	12
• <i>Procedimentos:</i> .....	12
• 5 ATIVIDADE 4 - EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA BASEADA NA POLARIMETRIA .....	22
• <i>Procedimentos:</i> .....	23
• 6 ATIVIDADE 5 - MISTURAS RACÊMICAS E EXCESSO ENANTIOMÉRICO .....	31
• <i>Procedimentos:</i> .....	31
• 7 ATIVIDADE 6 - APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM E FECHAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	39
• CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47

## APRESENTAÇÃO

Este produto educacional foi elaborado como resultado do trabalho de pesquisa realizado no Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI), com polo na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Está estruturado no formato de uma sequência didática, com o objetivo de proporcionar aos professores de Química do Ensino Médio e Técnico um material diferenciado e de apoio para abordar os conteúdos de isomeria óptica e polarimetria.

A sequência didática apresenta-se em seis atividades que envolvem a experimentação investigativa, utilizando-se de um polarímetro alternativo, proposto como recurso educacional acessível e de baixo custo. Essa abordagem estimula o ensino e a aprendizagem ativa por meio de coleta, análise e interpretação crítica e científica de dados obtidos por meio de experimentação química. A sequência didática é adequada para ser aplicada nos estudos de Química Orgânica e os materiais utilizados são de fácil acesso e de baixo custo, facilitando o professor no momento de planejamento, elaboração e aplicação das atividades aos alunos.

Destaca-se que este produto educacional é uma sugestão para ser trabalhado os conteúdos de isomeria óptica e polarimetria, podendo o professor fazer adequações ou alterações durante sua aplicação, isto é, pode ser adaptado de acordo com cada realidade escolar. O professor pode aplicar a sequência didática aos alunos individualmente, distribuídos em grupos ou de qualquer outra forma que considerar adequada.

Desejamos que este produto educacional seja de grande auxílio e contribua para a melhoria do processo de ensino de isomeria óptica e polarimetria, que demonstra ser um conteúdo de grande dificuldade de aprendizagem pelos alunos do Ensino Médio e Técnico.

Os autores.

## ATIVIDADE 1

### APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Duração estimada: 1 aula de 50 minutos

#### Objetivos:

- Apresentar aos alunos a proposta e a estrutura da sequência didática.
- Estimular o interesse dos alunos pelos conteúdos referentes à isomeria óptica e da polarimetria, estabelecendo relações com situações do cotidiano.
- Aplicação de questionário diagnóstico para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos sobre isomeria óptica e polarimetria.
- Identificar possíveis equívocos conceituais que os alunos possam ter sobre isomeria óptica.

#### Procedimentos:

1. Desenvolver uma breve conversa perguntando aos alunos se já ouviram falar de medicamentos que têm versões “ativas” e “inativas” como, por exemplo, a Talidomida e como isso pode estar relacionado à estrutura das moléculas.
2. Apresentar o tema central da sequência didática envolvendo isomeria óptica e polarimetria, buscando correlacionar com fatos do cotidiano.
3. Explanar os objetivos da sequência didática como exemplificado a seguir:
  - Compreender os fundamentos teóricos de isomeria óptica, relacionado ao cotidiano.
  - Estabelecer a relação da propriedade de desvio da luz plano polarizada com as estruturas moleculares de substâncias químicas.

- Realizar experimentais químicos e interpretar resultados com base no raciocínio científico.
- Trabalhar a seguinte situação-problema relacionada a uma situação do cotidiano, buscando trazer um ponto de partida em que os alunos deverão propor uma solução ao longo do desenvolvimento da sequência didática:

### **SITUAÇÃO-PROBLEMA:**

**“Uma cliente chega à farmácia com uma prescrição médica para a compra de um analgésico/anti-inflamatório específico. O farmacêutico identifica que o medicamento prescrito é comercializado na forma de isômeros, ou seja, contém dois compostos de mesma fórmula molecular, porém cada um com uma atividade óptica e terapêutica específica. Essas informações são compartilhadas com a cliente, no entanto, ela desconhece esses conceitos, e como eles estão relacionados ao efeito do medicamento no tratamento da dor. A cliente solicita esclarecimentos ao farmacêutico a respeito, com objetivo de compreender melhor as características do medicamento e poder utilizá-lo com segurança. Como é possível auxiliar o entendimento da cliente quanto às características químicas do medicamento?”**

4. Entregar aos alunos um questionário impresso ou no formato digital, contendo entre cinco e sete questões objetivas e discursivas simples. Como sugestão, o professor poderá utilizar questões de exames de vestibulares e/ou do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). As questões deverão abordar os conteúdos de quiralidade, isomeria óptica, enantiômeros, excess enantiomérico.



## ATIVIDADE 2

### AULA EXPOSITIVA E DIALOGADA: COMPREENDENDO A ISOMERIA ÓPTICA E A POLARIMETRIA

Duração: 4 aulas de 50 minutos.

#### Objetivos:

- Introduzir os conteúdos de isomeria óptica, com ênfase na presença de carbono assimétrico em algumas estruturas moleculares de compostos orgânicos.
- Enfatizar a presença de compostos isoméricos classificados como enantiômeros, estabelecendo suas propriedades com relação à atividade biológica.
- Abordar as propriedades físicas e químicas de enantiômeros, principalmente com relação ao desvio do ângulo de propagação da luz plano polarizada.
- Compreender o conceito de mistura racêmica e excesso enantiomérico e sua relevância em misturas contendo enantiômeros.
- Apresentar os princípios da polarimetria, relacionando-os à análise de substâncias opticamente ativas.
- Estimular a participação ativa dos alunos por meio de uma atividade para o reconhecimento de substância ópticamente ativa.

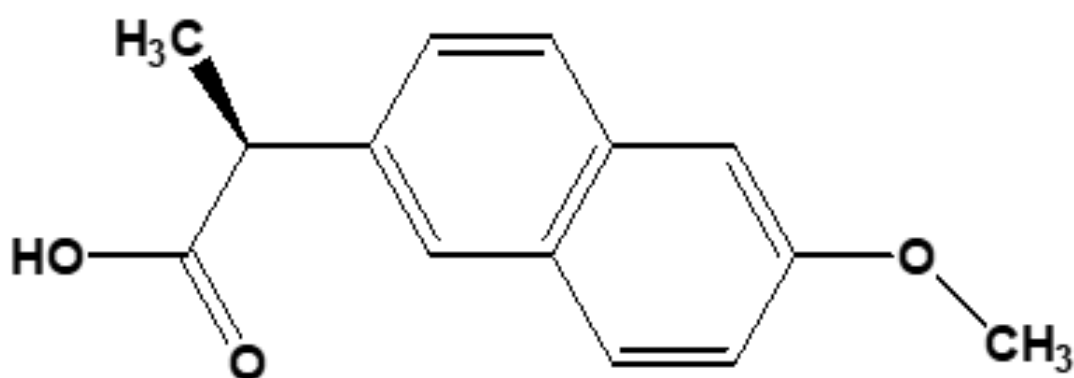
## Procedimentos:

1. Inicie a aula com a seguinte pergunta aos alunos: “Vocês têm conhecimento de que existem medicamentos que contêm duas moléculas de mesma fórmula molecular, mas agem diferentemente no nosso corpo quando ingeridas? Enquanto uma molécula pode tratar a doença, a outra pode causar efeitos colaterais graves”. Apresente rapidamente o caso da Talidomida, contextualizando a necessidade de se ter o conhecimento químico relacionado aos isômeros ópticos.
2. Explique o conceito de quiralidade utilizando exemplos do cotidiano, como, por exemplo, a comparação entre as mãos direita e esquerda, asas de avião, etc.
3. Desenvolva os conceitos relacionados aos enantiômeros, destacando que são moléculas não sobreponíveis entre si e que estabelecem a propriedade da especularidade. Utilize recursos didáticos como modelo de bola e vareta para facilitar a compreensão desses conceitos.
4. Apresente aos alunos a propriedade dos enantiômeros puros de rotacionarem o plano de propagação da luz polarizada, bem como os conceitos de mistura racêmica e de excesso enantiomérico (e.e.). Abordar os conceitos de moléculas dextrógiras e levógiras.

5. Apresente o funcionamento básico do polarímetro e como ele permite identificar a atividade óptica de substâncias quirais. Apresentar a equação da polarimetria e o conceito de rotação específica das substâncias quirais.

6. Dividir os alunos da turma em grupos e entregar as estruturas moleculares impressas de três analgésicos: dipirona, paracetamol e naproxeno. Solicitar que os alunos selecionem quais dos medicamentos apresenta a propriedade de isomeria óptica com base na análise da estrutura molecular apresentada. Solicitar que os alunos justifiquem as respostas. Neste caso, espera-se que os alunos selecionem o medicamento Naproxeno (Figura 1).

**Figura 1 - Estrutura molecular do Naproxeno**



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

## ATIVIDADE 3

### EXPERIMENTAÇÃO PARA OBSERVAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA LUZ ORDINÁRIA E PLANO POLARIZADA. COMPREENSÃO DE FENÔMENOS RELACIONADOS À PROPAGAÇÃO DA LUZ E DA LEI DE MALUS.

Duração estimada: 2 aulas de 50 minutos

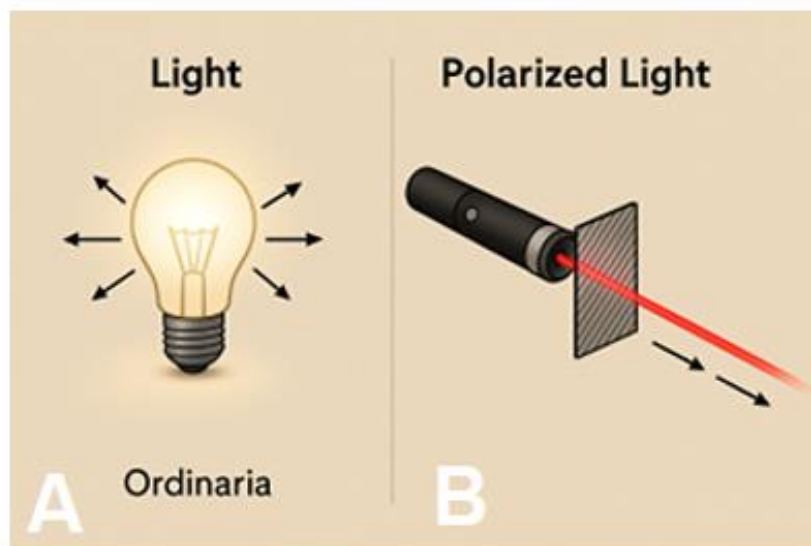
#### Objetivos:

- Compreender as diferenças entre luz ordinária e luz plano polarizada.
- Observar, por meio de experimentos e simulações, a propagação da luz em diferentes contextos.
- Aplicar a Lei de Malus na análise da intensidade da luz transmitida através de polarizadores.

#### Procedimentos:

1. Inicialmente, sugere-se que o professor promova uma dinâmica de observação em sala, utilizando dois tipos de fontes luminosas. Como exemplos pode-se utilizar uma lâmpada comum (A- luz ordinária) e um laser pointer (B- representando a luz plano polarizada) como ilustrado na Figura 2.

**Figura 2 – Ilustração das luzes. A- Ordinária e B- Polarizada**



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

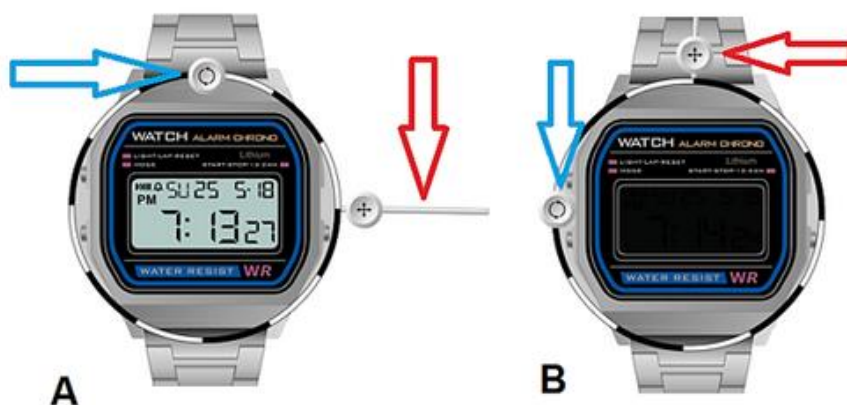
2. Convide os alunos a observar e descrever as diferenças no comportamento da propagação da luz em ambos os casos. A luz da lâmpada, com propagação multidirecional, iluminará todo o ambiente, enquanto o feixe do laser, com propagação direcionada, apontará para pontos específicos da sala. A atividade permitirá demonstrar os efeitos da película polarizada. A atividade permitirá discutir a noção de luz polarizada em um plano.

3. Com auxílio do laboratório de informática ou de aparelho celular, utilize o simulador descrito no link abaixo da Figura 3 para simular o efeito do uso de película polarizadora.

**Figura 3 – Simulação de filtros polarizadores.**

**A – Passagem total da luz.**

**B – Bloqueio total da luz.**



4. Em seguida, com uso de um computador, acesse à simulação virtual da Lei de Malus, disponível no Laboratório Virtual de Física da Universidade Federal do Ceará, disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/lei-malus>). Siga as etapas descritas no roteiro proposto para ser trabalhado com a simulação, disponível em: [https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/\\_files/ugd/b4d494\\_cc255eb178614eaab97f940f5b3ae9e2.pdf](https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/_files/ugd/b4d494_cc255eb178614eaab97f940f5b3ae9e2.pdf)) e auxilie os alunos na coletas de dados referentes a variação da intensidade luminosa em função do ângulo entre dois polarizadores (polarizador e analisador), obtidos através da simulação no simulador virtual.

5. Solicite aos grupos registrarem os dados obtidos na tabela do roteiro (anexo 1). Os dados anotados serviram para construção do Gráfico 1 - intensidade absoluta da luz versus ângulo. Os alunos deverão observar os resultados, conforme mostrados no Quadro 2 e no Gráfico 1. Obs.: Os valores obtidos no quadro são aproximados, podendo apresentar pequenas variações de acordo com a análise do observador.



**Quadro 2 – Intensidade de luz transmitida em função do ângulo entre polarizador e analisador**

<b>Ângulo de rotação do polarizador (<math>\theta</math>)</b>	<b>Intensidade de Luz</b>
0°	190
10°	183,7
20°	169,5
30°	144,5
40°	112,2
50°	79,1
60°	48,9
70°	22,7
80°	6,3
90°	0
100°	5
110°	21
120°	46,3
130°	77,5
140°	110,7
150°	141,8
160°	167,4

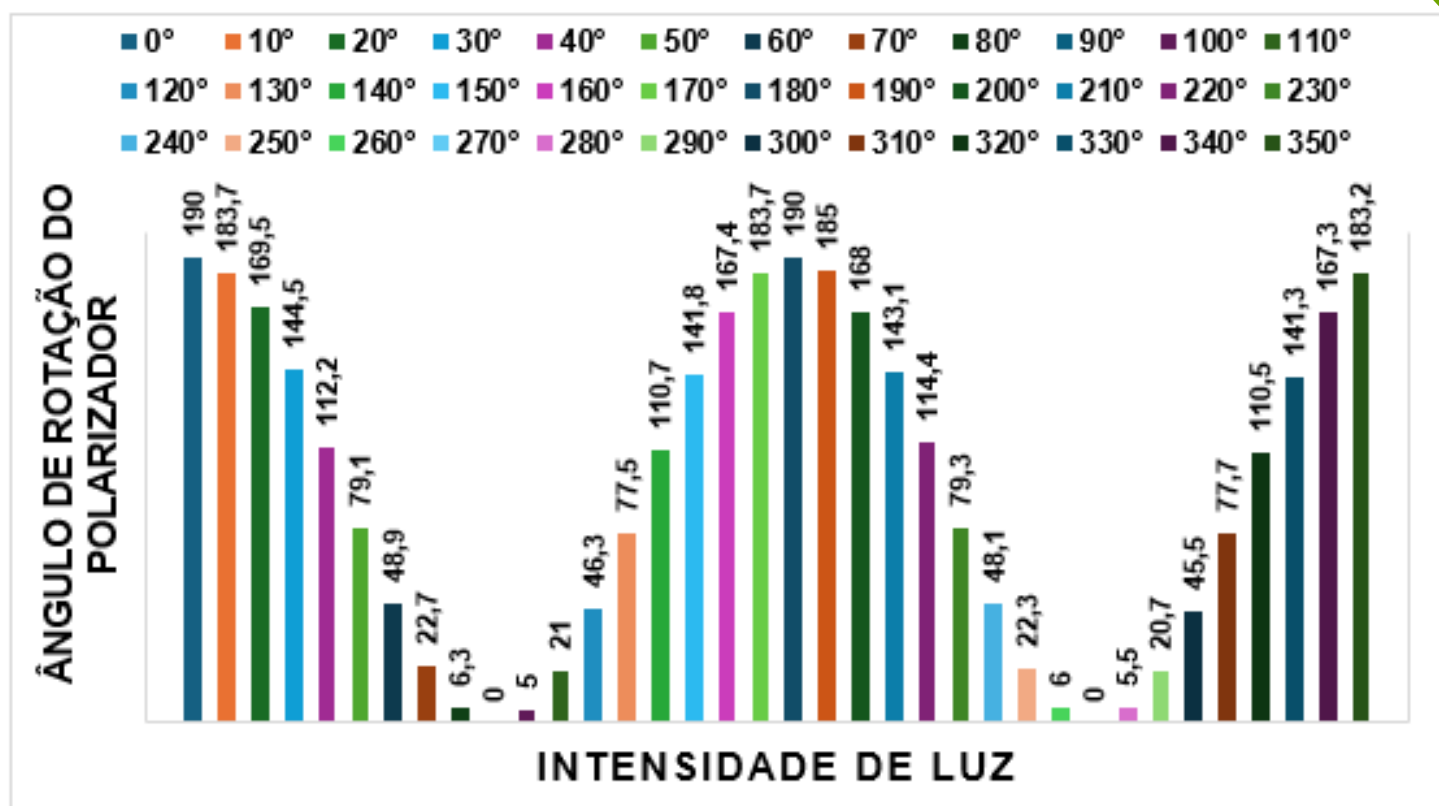
Legenda

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

160°	167,4
170°	183,7
180°	190
190°	185
200°	168
210°	143,1
220°	114,4
230°	79,3
240°	48,1
250°	22,3
260°	6,0
270°	0
280°	5,5
290°	20,7
300°	45,5
310°	77,7
320°	110,5
330°	141,3
340°	167,3
350°	183,2

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

**Gráfico 1 – Variação da intensidade de luz em função do ângulo de rotação do polarizador.**



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Observa-se uma variação cíclica na intensidade da luz conforme o ângulo muda, atingindo valores máximos em ângulos de  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ , e  $360^\circ$  e mínimos em ângulos de  $90^\circ$  e  $270^\circ$ .

Esse comportamento corresponde à Lei de Malus, onde a intensidade é máxima quando os eixos de polarização do polarizador e do analisador estão alinhados (ângulo de  $0^\circ$  ou múltiplos de  $180^\circ$ ) e mínima quando estão perpendiculares (ângulo de  $90^\circ$  ou  $270^\circ$ ). Esse gráfico destaca visualmente a natureza periódica da variação da intensidade de luz com o ângulo.

6. A atividade de simulação aplicada, auxiliará os alunos resposta das questões que se encontram disponível no roteiro proposto para ser trabalhado com a simulação.

**As respostas esperadas para as questões que se encontram no roteiro são:**

**Questão 1:** a resposta correta deverá indicar que as intensidades de luz variam periodicamente com o ângulo de rotação o polarizador ( $\theta$ ), atingindo valores máximos quando  $\theta = 0^\circ$  e  $\theta = 180^\circ$  e mínimos, quando  $\theta = 90^\circ$  e  $\theta = 270^\circ$ .

**Questão 2:** a resposta desejável deverá ser de  $90^\circ$  e  $270^\circ$ . Segundo a Lei de Malus ( $I = I_0 \cos^2(\theta)$ ), que prevê que a intensidade da luz transmitida depende do cosseno ao quadrado do ângulo entre os eixos de polarização. Quando o ângulo  $\theta$  é  $90^\circ$  ou  $270^\circ$ ,  $\cos(90^\circ) = 0$  e  $\cos(270^\circ) = 0$ , resultando em uma intensidade de luz igual a zero ( $I = I_0 \times 0^2 = 0$ ). Isso ocorre porque, nesses ângulos, os eixos de polarização estão perpendiculares, bloqueando totalmente a passagem da luz plano polarizada.

**Questão 3:** a resposta desejável será os ângulos de  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  ou  $360^\circ$ . A intensidade é máxima quando os eixos de polarização do polarizador e do analisador estão alinhados (paralelos), ou seja, quando o ângulo é  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ , ou  $360^\circ$ . Nessas condições, o cosseno do ângulo é igual a 1 ( $\cos(0^\circ) = \cos(180^\circ) = \cos(360^\circ)=1$ ). Isso significa que toda a luz polarizada consegue atravessar o analisador nesses ângulos, atingindo a intensidade máxima.

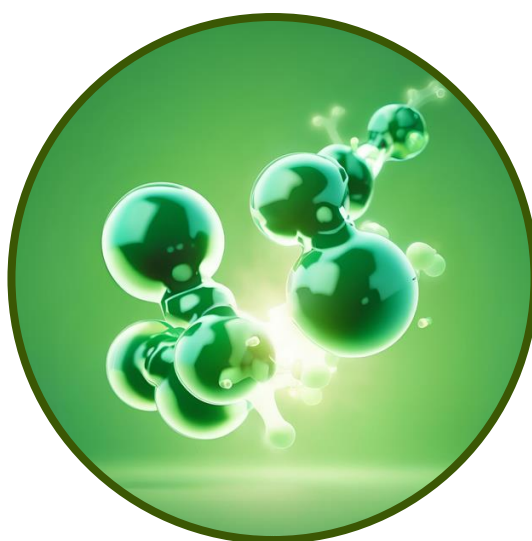
**Questão 4:** a resposta correta deverá ser que não faz diferença se o polarizador é mantido parado e apenas o analisador é rotacionado ou vice-versa. Como justificativa, os alunos devem se basear na Lei de Malus, que estabelece que o efeito final depende apenas do ângulo relativo  $\theta$  entre os eixos de polarização do polarizador e do analisador. Essa lei considera o ângulo  $\theta$  como o fator determinante na intensidade da luz transmitida, independentemente de qual dos filtros está sendo rotacionado.

7. Pode-se sugerir ao final da atividade alguns questionamentos como:

a- Em quais ângulos a intensidade da luz é máxima ( $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $360^\circ$ ).

b- Em quais ângulos ela é nula ( $90^\circ$ ,  $270^\circ$ ).

c- A invariância dos resultados ao inverter a rotação entre polarizador e analisador



## ATIVIDADE 4

# EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA BASEADA NA POLARIMETRIA

Duração estimada: 2 aulas de 50 minutos

### Objetivos:

- Investigar, por meio da experimentação, a relação entre a rotação óptica de uma substância quiral e suas variáveis físicas, determinando o ângulo de rotação da luz plano polarizada em função da concentração e do caminho óptico de soluções de Naproxeno.
- Utilizar um polarímetro alternativo construído com materiais reutilizados, acessíveis e de baixo custo.
- Compreender a equação da polarimetria.
- Determinar experimentalmente a rotação específica do naproxeno em função da variação da concentração e do caminho óptico de Naproxeno.
- Estimular o raciocínio investigativo e a análise gráfica de dados experimentais.



## Procedimentos:

1. Nessa etapa, os alunos participarão de uma atividade experimental para compreender a relação das variáveis que envolvidas na equação da polarimetria e determinar a rotação específica de uma substância quiral. Sugerimos a utilização do polarímetro alternativo, cuja sua construção, utilizando-se de materiais reutilizáveis, acessíveis e de baixo custo, encontra-se no Produto Educacional Parte 1. \*Esse Produto Educacional Parte 2, que se refere à sequência didática, traz uma abordagem diferente do Produto Educacional Parte 1. Os Produtos Educacionais Parte 1 e Parte 2 podem ser utilizados independentemente um do outro.

2. Os alunos podem ser divididos em grupos (máx. 4 alunos), baseados na quantidade de polarímetros alternativos construídos para a realização da experimentação.

3. Para realização da experimentação é sugerido o uso do Naproxeno, um fármaco reconhecido por seu caráter opticamente ativo, previamente discutido na atividade 2, item 6 desta sequência didática. O experimento poderá ser dividido em dois momentos experimentais:

### **A) Variação da concentração de Naproxeno, mantendo constante o comprimento óptico fixo ( $l = 10$ cm).**

Utilizando soluções de Naproxeno de concentrações 2,0; 3,0 e 4,0% (m/v), preparadas a partir de uma solução estoque de 5% em etanol 99° GL, os alunos devem medir os valores do ângulo de rotação ( $\alpha$ ) com o polarímetro alternativo devidamente calibrado, mantendo o comprimento do caminho óptico em 10 cm com o auxílio da escala milimétrica contida na abertura do corpo do polarímetro. Um polarímetro comercial também pode ser utilizado, utilizando-se o tubo polarímetro de 1 dm.

Para cada solução de concentração 2,0; 3,0, 4,0 e 5,0% (m/v), e com o polarímetro alternativo calibrado (Produto Educacional Parte 1), rotacionar o disco do transferidor até observar que a transmitância da luz plano polarizada seja nula ou mínima. Neste ponto, os valores de ângulos de rotação devem ser anotados, conforme sugerido no Quadro 3.

**Observação:** Nesta etapa, as medidas devem ser realizadas partindo-se da solução menos concentrada para a mais concentrada. A solução de 4,0% não deve ser descartada, para ser utilizada no experimento B.

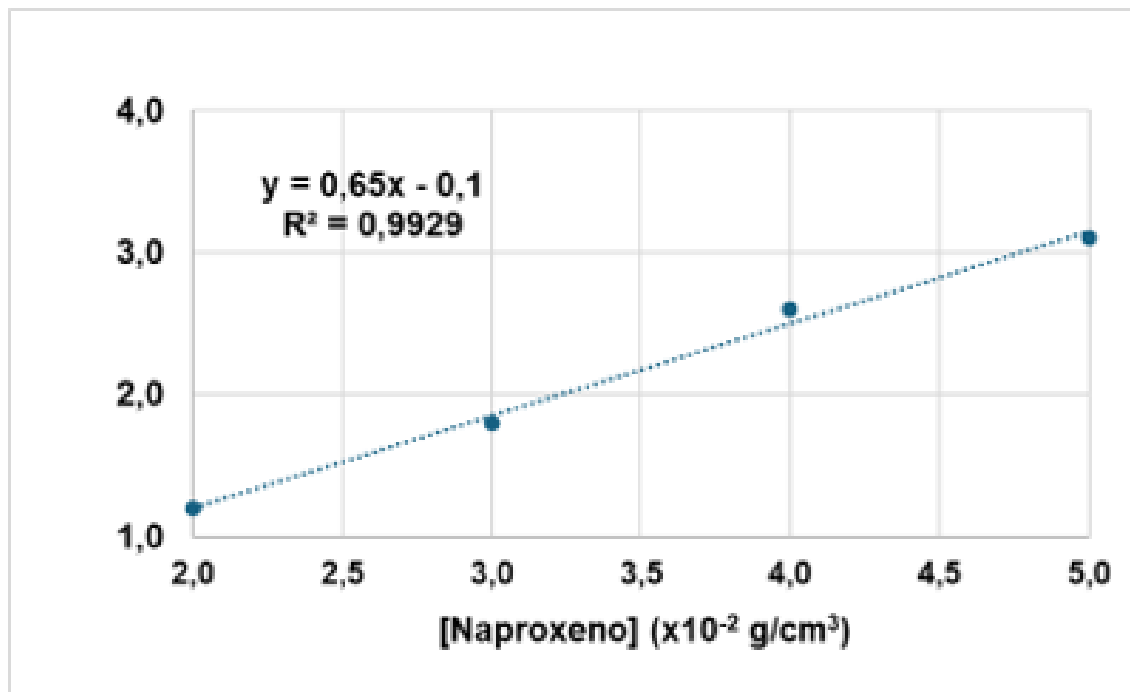
**Quadro 3 – Ângulos de rotação da luz plano polarizada em função da concentração da solução e rotação específica de naproxeno, sendo  $l = 1,0$  dm (10,0 cm) e temperatura = 25°C.**

<b>Concentração Naproxeno (<math>\times 10^{-2}</math> g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ângulo de Rotação (graus)</b>
<b>2,0</b>	
<b>3,0</b>	
<b>4,0</b>	
<b>5,0</b>	
<b>R2</b>	
<b>Valor da Rotação Específica</b>	

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

**Os dados obtidos devem ser plotados com o auxílio do Excel ou de papel milimétrico, dispondo os ângulos de rotação no eixo da ordenada (y) e as concentrações na abscissa (eixo x). Resultados semelhantes serão obtidos, conforme mostrado no Gráfico 2.**

**Gráfico 2 – Curvas das medidas dos ângulos de rotação da luz polarizada em função da concentração da solução de naproxeno.**



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

**Determinar o coeficiente angular da curva obtida, no intuito de determinar o valor da rotação específica do Naproxeno.**

## **B) Variação do comprimento óptico (l), com concentração fixa ( $c = 4,0\%$ ):**

Utilizando-se da solução de Naproxeno  $4,0\%$ , o mesmo procedimento de leitura do ângulo de rotação deve ser feito, porém o que será variado é o comprimento óptico da solução de Naproxeno no tubo do polarimétrico alternativo.

Os alunos deverão preencher o tubo do polarímetro com a solução de Naproxeno  $4,0\%$  até a marca de 5 cm, viabilizada pela escala milimétrica contida na lateral do tubo polarimétrico, feita com acetato transparente.

Com o polarímetro alternativo calibrado, os alunos deverão rotacionar o disco do transferidor até que a intensidade luminosa seja mínima ou nula.

Os procedimentos anteriores devem ser repetidos para os caminhos ópticos 7,0; 9,0 e 10 cm, medidos no corpo do polarímetro e os valores de ângulos de rotação devem ser anotados, conforme o Quadro 4 sugerido.

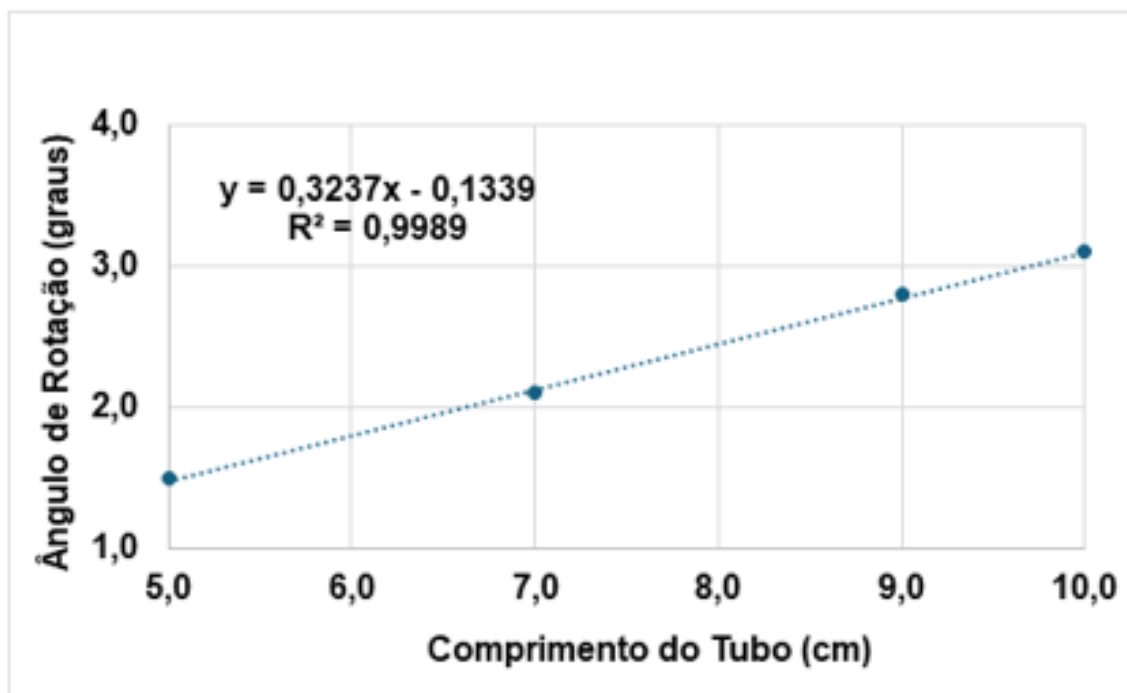
**Quadro 4 - Ângulos de rotação da luz plano polarizada em função da concentração da solução e rotação específica de naproxeno, sendo  $L = 1,0$  dm (10,0 cm) e temperatura = 25°C.**

Comprimento de tubo do polarímetro (cm)	Ângulo de Rotação (graus)
5,0	
7,0	
9,0	
10,0	
R2	
Valor da Rotação Específica	

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Os dados obtidos devem ser plotados com o auxílio do Excel ou de papel milimetrado, dispondo os ângulos de rotação no eixo da ordenada (y) e as concentrações na abscissa (eixo x). Resultados semelhantes serão obtidos, conforme mostrado no Gráfico 3.

**Gráfico 3 – Curvas das medidas dos ângulos de rotação da luz polarizada em função do comprimento da solução (caminho óptico) de naproxeno.**



**Determinar o coeficiente angular da curva obtida, no intuito de determinar o valor da rotação específica do Naproxeno.**



## Reflexões:

Solicitar aos grupos de alunos que compartilhem suas observações e discutam como os enantiômeros afetam a rotação da luz plano polarizada.

Estabelecer juntamente com os alunos, as relações entre os resultados obtidos com os fundamentos teóricos de enantiômeros e suas propriedades de rotação da luz plano polarizada.

Perguntar aos alunos sobre qual deveria ser a influência da variação do diâmetro da solução sobre a atividade óptica, mantendo constante a concentração e o caminho óptico de Naproxeno.

Os grupos de alunos devem analisar cientificamente, formular hipóteses, argumentar os resultados obtidos na perspectiva dos fundamentos teóricos de isomeria óptica e polarimetria, promovendo o reforço do aprendizado.

## **ATIVIDADE 5**

### **MISTURAS RACÊMICAS E EXCESSO ENANTIOMÉRICO**

Duração estimada: 2 aulas de 50 minutos

#### **Objetivos:**

- Aprofundar os conhecimentos fundamentais relacionados aos enantiômeros.
- Abordar o conceito de misturas racêmicas e excesso enantiomérico e atividade óptica.
- Explorar a utilização de um polarímetro alternativo para diferenciação entre misturas racêmicas e misturas contendo excesso enantiomérico.

#### **Procedimentos:**

1. Promover em sala de aula discussões orientadoras baseada no Quadro 5, buscando-se estimular a análise crítica e o raciocínio científico.

**Quadro 5 – Questões abordadas com os alunos para reflexões acerca do conteúdo de mistura racêmica e excesso enantiomérico.**

Pergunta Orientadora	Objetivo da Pergunta
O que vocês entendem por moléculas quirais? Repensar sobre a manutenção desta pergunta.	Retomar o conceito de quiralidade e moléculas quirais, reforçando a base para compreensão de enantiômeros.
Se tivermos uma solução contendo uma mistura de duas moléculas quirais que são espelhos uma da outra, o ângulo de rotação da luz plano polarizada teria o mesmo comportamento comparado com uma solução pura dos isômeros?	Instigar o entendimento sobre enantiômeros puro e mistura racêmica, bem como sua influência na rotação óptica.
O que vocês imaginam que aconteceria com a rotação da luz, se tivéssemos uma mistura de enantiômeros em quantidades iguais? E se um deles estiver em maior quantidade?	Instigar os conceitos de mistura racêmica e excesso enantiomérico, estimulando reflexão e compreensão do fenômeno de forma autônoma.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

2. Apresentar os conceitos de mistura racêmica e excesso enantiométrico (e.e), podendo ser utilizados os medicamentos Ibuprofeno e Naproxeno.



### **Para saber mais sobre Ibuprofeno e Naproxeno**

No caso do ibuprofeno, o enantiômero dextrogiro (+) é o que apresenta maior afinidade pelas proteínas plasmáticas e, como consequência, melhor ação farmacológica (Barreiro; Fraga, 2001). No entanto é conhecido, por testes biológicos realizados in vivo, que a enzima epimerase 2-arylpropionil-CoA é capaz de converter o levógiro (-) no seu enantiômero mais ativo, isto é, no dextrogiro (+) (Reichel et al., 1997). Desta forma, devido ao alto custo envolvido na síntese de um enantiômero puro, os profenos são comercializados na forma racêmica, com exceção do naproxeno, disponível no mercado apenas como o isômero dextrogiro (+), devido à ação hepatotóxica do enantiômero levogiro (-) (Caron; Tseng; Kazlauskas, 1994).

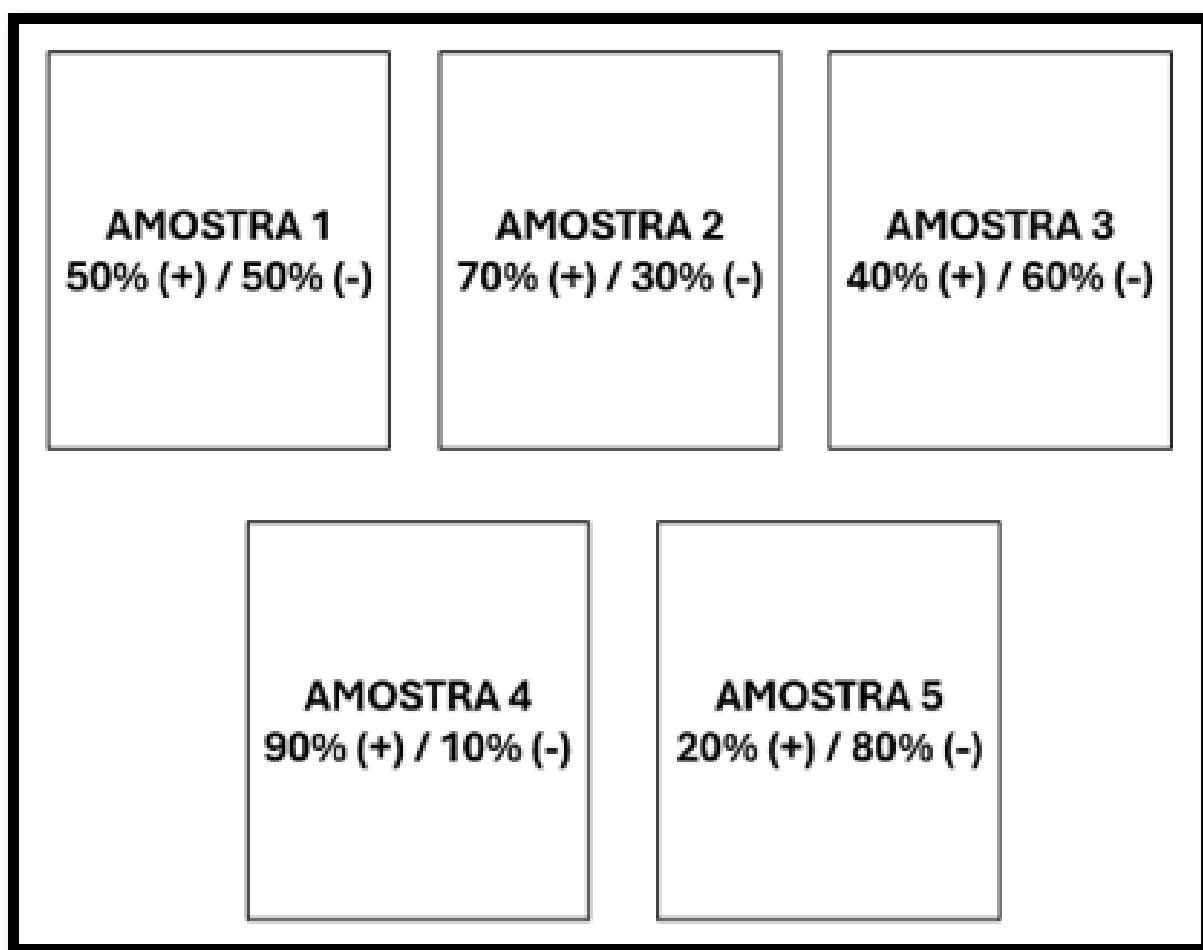
BARREIRO, E. J.; FRAGA, C. A. M. Química Medicinal. As bases moleculares da ação dos fármacos, Ed. Artmed: Porto Alegre, 2001., p. 159.

REICHEL. C.; BRUGGER, R.; BANG, H. GEISLINGER, G.; BRUNE, K. Molecular cloning and expression of a 2-arylpropionyl-coenzyme A epimerase: a key enzyme in the inversion metabolism of ibuprofen. Molecular Pharmacology., v. 51, n. 4, p. 576-582, 1997.

CARON, G.; TSENG, G. W. M.; KAZLAUSKAS, R. J. Kinetic resolutions concentrate the minor enantiomer and aid measurement of high enantiomeric purity. Tetrahedron Asymmetry, v. 5, n.1, p. 83-92, 1994.

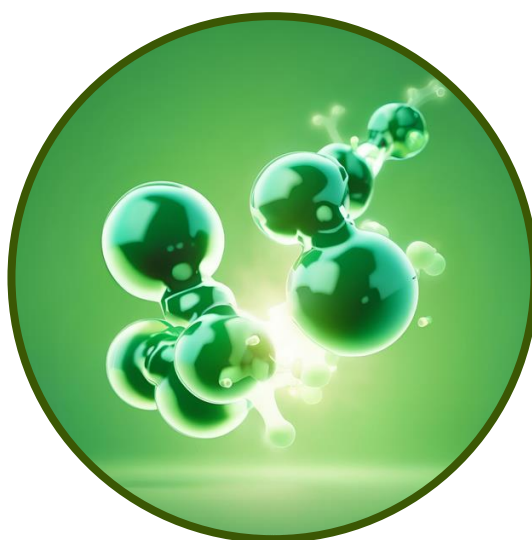
3. Elaborar cartões (5x6 cm) representativos de misturas de enantiômeros em diferentes quantidades, conforme apresentado na Figura 4. O quantitativo de cartões a serem elaborados dependerá do número total de grupos. Caso o número de turmas ultrapasse cinco grupos, o professor pode sugerir outras composições de misturas de enantiômeros que não se encontram na Figura.

**Figura 4 - Cartões representativos de misturas de enantiômeros em diferentes quantidades.**



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

4. Distribuir um cartão para cada grupo de alunos e solicitar que os mesmos formulem hipóteses relacionadas à rotação da luz plano polarizada.
5. Em seguida, cada grupo pode socializar as respostas em sala de aula estimulando a apresentação das análises e de argumentação baseada nos fundamentos teóricos. Nessa etapa, cada grupo de alunos analisa as interpretações dos outros grupos e no final, todos consideram as implicações desses conceitos em contextos reais, como o que ocorre em medicamentos quirais.
6. Buscando-se trabalhar experimentalmente o conteúdo de mistura racêmica e excesso enantiomérico (e.e.), preparar soluções de ( $\pm$ )-ibuprofeno a 5% (m/v) e misturas de (+)-glicose e (-)-glicose, a 50% e 80% (m/v) em excesso de (+)-glicose.



**Para saber mais:** Preparação das soluções de glicose.

### 1. Solução de Ibuprofeno 5% (m/v):

- Dissolver 5 g de ibuprofeno em um balão volumétrico de 100,00 cm<sup>3</sup>, utilizando-se álcool etílico 99° GL como solvente.

### 2. Soluções a 50% e 80% de excesso de (+)-glicose:

- Preparar 250,00 cm<sup>3</sup> de solução de (+)-glicose a 10% (m/v). Realizar o mesmo procedimento para solução de (-)-glicose. Essas soluções serão utilizadas para a realização das devidas misturas, para se obter misturas com 50% e 80% de excesso enantiomérico.

A) Solução a 50% de excesso enantiomérico (e.e.): misturar 75,00 cm<sup>3</sup> com 25,00 cm<sup>3</sup> das soluções estoques de (+)-glicose e (-)-glicose, respectivamente, em um balão volumétrico de 100,00 cm<sup>3</sup> e completar o menisco com água destilada. Os volumes foram definidos por meio do cálculo:

$$e.e. = \frac{[75\%] - [25\%]}{[75\%] + [25\%]} \times 100$$
$$e.e. = 50\%$$

B) Solução a 80% de e.e.: misturar 90 cm<sup>3</sup> de (+)-glicose com 10,00 cm<sup>3</sup> de (-)-glicose, em um balão volumétrico de 100,00 cm<sup>3</sup>. Os volumes foram definidos por meio do cálculo:

$$e.e. = \frac{[90\%] - [10\%]}{[90\%] + [10\%]} \times 100$$
$$e.e. = 80\%$$



Os grupos de alunos devem realizarem as medidas de rotação óptica das soluções contendo excessos de 50% e 80% de (+)-glicose, utilizando-se do polarímetro alternativo, sendo os dados obtidos registrados conforme o Quadro 6, cujos resultados esperados, podendo haver variações, estão representados.

**Quadro 6 – Valores dos ângulos de rotação da luz plano polarizada e rotações específicas para misturas de enantiômeros, sendo  $L = 1 \text{ dm}$  e  $C = 10\% \text{ m/v}$**

MISTURAS	ÂNGULOS DE ROTAÇÃO DA LUZ (graus)	Rotação Específica (graus)
(±)-ibuprofeno	$0^\circ$	$0^\circ$
e.e. 50% em (+)-glicose	$+2,55^\circ$	$+25,5^\circ$
e.e. 80% (+)-glicose	$+4,10^\circ$	$+41,0^\circ$

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Os cálculos das rotações específicas das misturas contendo 50% e 80% de e.e. de (+)-glicose, por meio da lei da polarimetria, são apresentados a seguir:

·Para solução com 50% de e.e. em (+)-glicose:

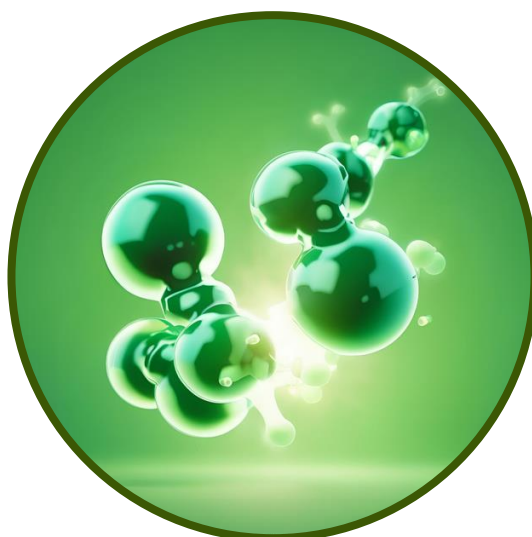
$$[\alpha]_{50\%} = \frac{+2,55^\circ}{0,1 \times 1} \qquad [\alpha]_{50\%} = +25,5^\circ$$

Solução com 80% de e.e. em (+)-glicose:

$$[\alpha]_{80\%} = \frac{+4,10^\circ}{0,1 \times 1} \qquad [\alpha]_{80\%} = +41,0^\circ$$

7. Solicitar que os grupos de alunos realizem comparações entre as leituras da mistura racêmica e as soluções com e.e. de (+)-glicose.

8. Estabelecer relação da rotação óptica observada com a concentração de excesso enantiomérico, a partir dos resultados obtidos com as soluções de excesso em 50% e 80% de (+)-glicose.



## ATIVIDADE 6

### APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM E FECHAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Duração estimada: 2 aulas de 50 minutos

#### Objetivos:

- Obter e analisar dados relacionados à aprendizagem dos conteúdos sobre isomeria óptica, enantiômeros, polarimetria e atividade óptica.
- Avaliar contribuição das atividades planejadas e propostas no desenvolvimento desta sequência didática.

#### Procedimentos:

1. Nesta atividade, os alunos deverão responder a um questionário avaliativo contendo questões relacionadas à aplicação da experimentação química investigativa, bem como de aprofundamento dos fundamentos teóricos sobre isomeria óptica, enantiômeros, polarimetria e atividade óptica.
2. Como sugestão a ser aplicado aos alunos, propõe-se o questionário mostrado a seguir.

1. (ENEM, 2018 - segunda Aplicação). Várias características e propriedades de moléculas orgânicas pode ser inferida analisando sua fórmula estrutural. Na natureza, alguns compostos apresentam a mesma fórmula molecular e diferentes fórmulas estruturais. São os chamados isômeros, como ilustrados nas estruturas moleculares. Entre as moléculas apresentadas, observa-se a ocorrência de isomeria:

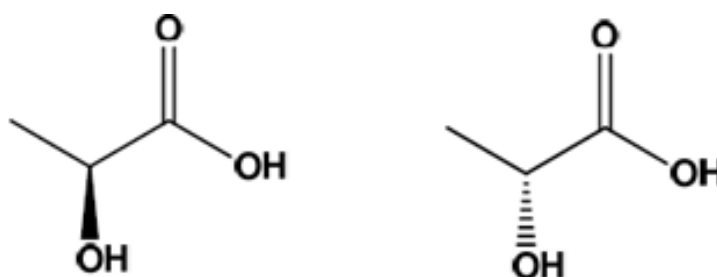
a) geométrica.

b) de função.

c) de cadeia.

d) óptica.

e) de compensação.



2. (ENEM, 2019, segunda aplicação - modificada). O ácido ricinoleico, de nomenclatura oficial (+)-12-hidroxióctadec-cis-9-enoico, é obtido da hidrólise ácida do óleo de mamona. Possui inúmeras aplicações na indústria, podendo ser empregado desde a fabricação de cosméticos até a síntese de alguns polímeros. Para uma amostra de solução deste ácido, o uso de um polarímetro permite determinar o ângulo de:

a) refração.

b) reflexão.

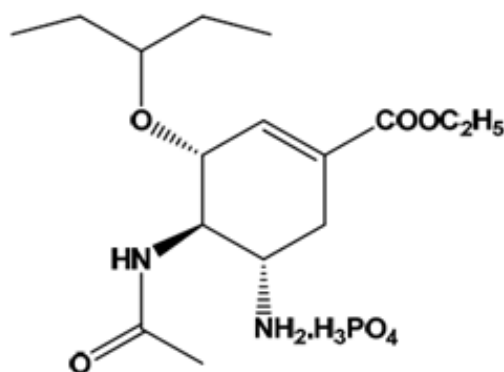
c) difração.

d) giro levógiro.

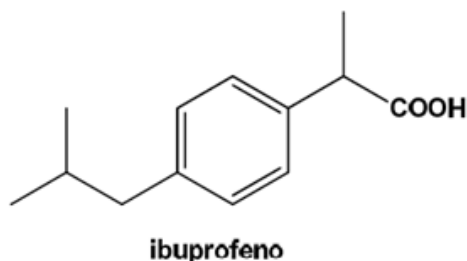
e) giro dextrógiro

3. (ENEM, 2017 - Libras - modificada). A estrutura molecular representada abaixo trata-se do principal antiviral usado na pandemia de gripe H1N1, que se iniciou em 2009. Qual é o número de enantiômeros ativos possíveis para esse antiviral?

- a) 1
- b) 2
- c) 6
- d) 8
- e) 16

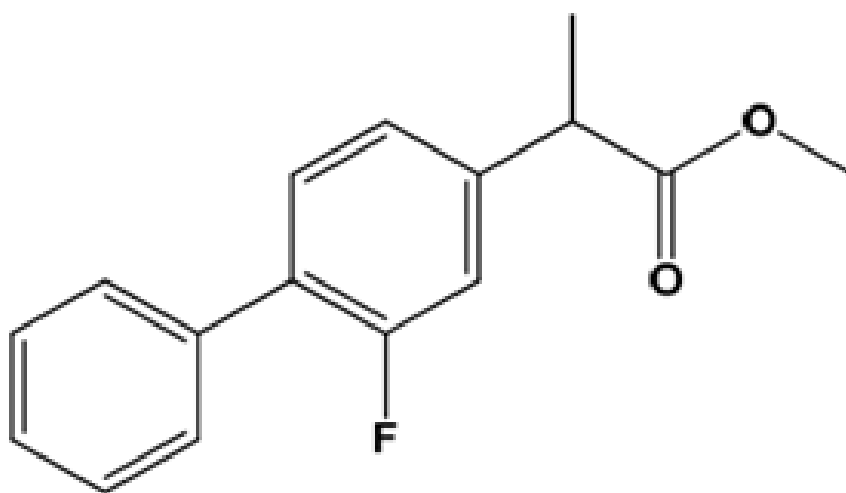


4. (UECE, 2013 - modificada). O ibuprofeno é um fármaco anti-inflamatório, analgésico e antitérmico. Comercialmente é vendido como Advil. Com relação à estrutura molecular do ibuprofeno, assinale a afirmação correta.



- a) Devido à ausência de carbono assimétrico, a molécula desse composto não apresenta isomeria óptica.
- b) Sua molécula apresenta dois isômeros ópticos, com propriedades físicas diferentes, exceto o desvio da luz polarizada, de mesma intensidade e direção.
- c) O carbono vizinho ao grupo - COOH é assimétrico.
- d) Os dois enantiômeros desse composto apresentam as mesmas atividades fisiológicas.
- e) Nenhuma das alternativas.

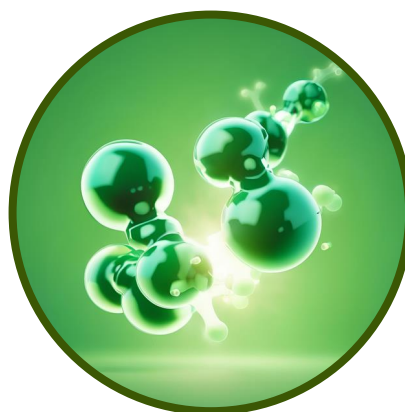
5. (QCONCURSOS - UERJ - 2023 - Técnico Universitário Superior - Químico - modificada). O flurbiprofeno é um anti-inflamatório utilizado em tratamentos de doenças oftalmológicas e reumáticas, que também atua como antipirético e analgésico, sendo representado pela estrutura molecular a seguir:



*flurbiprofeno*

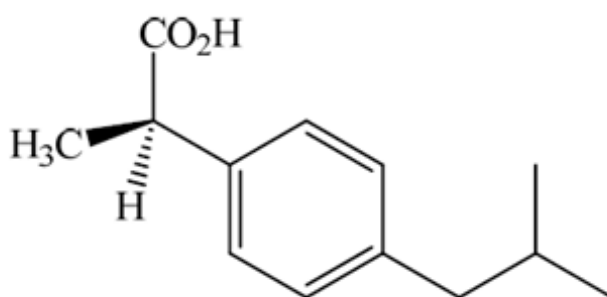
Considerando que o flurbiprofeno pode apresentar isomeria espacial, a propriedade física utilizada para diferenciar os isômeros dessa substância é:

- a) índice de refração
- b) rotação óptica
- c) solubilidade
- d) densidade



6. O ibuprofeno é um composto com um centro quiral e só o enantiômero  $R(+)$  tem atividade analgésica e anti-inflamatória. No entanto, na formulação do medicamento Motrin® aparece a indicação de que cada comprimido contém 400 mg de  $(\pm)$  ibuprofeno, ou seja, este medicamento é vendido como uma mistura racêmica. Neste caso, a venda da mistura racêmica não causa problemas porque o  $S(-)$ -ibuprofeno não é tóxico. Mas, por vezes, um dos enantiômeros é benéfico e o outro é tóxico. Assim, para evitar falsificações e/ou efeitos secundários nos medicamentos existe uma norma que obriga a que um dado medicamento tenha uma quantidade mínima do enantiômero ativo, caracterizando um excesso enantiomérico (e.e.).

Dado: rotação específica de  $(+)$ -ibuprofeno =  $+59^\circ$  se:



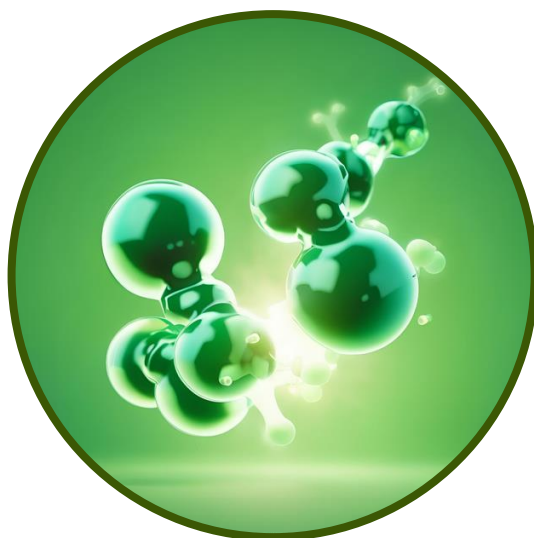
$(+)$  - Ibuprofeno  
rotação específica =  $+59^\circ$



*Pergunta-se:*

*a) Desenvolvimentos recentes possibilitaram a descoberta de um método de síntese que possibilita a obtenção de uma mistura de ibuprofeno com rotação específica de  $44,2^\circ$ . O que é um racemato?*

*b) Qual é a porcentagem de cada enantiômero do ibuprofeno obtido por este método? Qual dos enantiômeros está em excesso?*



7. *As atividades experimentais propostas neste trabalho contribuíram para a sua aprendizagem sobre isomeria óptica? Justifique sua resposta.*

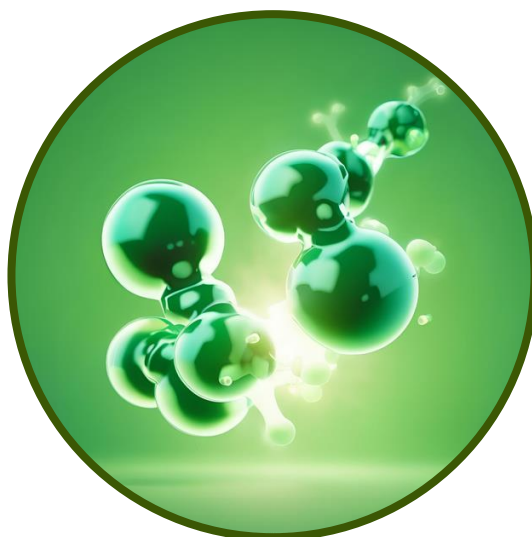
8. *Você acha que as atividades de experimentação sobre isomeria óptica podem prepará-lo para entender conceitos mais avançados de química? De que maneira?*

9. *Durante o desenvolvimento das atividades experimentais, você foi levado a interpretar os dados e a elaborar conclusões sobre os fenômenos observados? Justifique sua resposta.*

10. *"Uma cliente chega à farmácia com uma prescrição médica para um analgésico/antiinflamatório específico, devido a fortes dores que precisa aliviar. O farmacêutico percebe que o medicamento prescrito é comercializado na forma de racemato, ou seja, contém dois isômeros diferentes, cada um com uma atividade óptica específica. Essas informações são compartilhadas com a paciente pelo farmacêutico, no entanto, ela desconhece esses conceitos e como estão relacionados ao efeito do medicamento no tratamento da dor. A cliente solicita explicações ao farmacêutico, buscando compreender melhor as características do medicamento e poder fazer uso com segurança.*

*Como é possível auxiliar o entendimento da cliente quanto as características químicas do medicamento? Os alunos serão estimulados a refletir sobre a seguinte questão: "A experimentação investigativa pode contribuir para a identificação e diferenciação dos isômeros ópticos em medicamentos, visando aprimorar a compreensão dos efeitos biológicos e a qualidade terapêutica?"*

3. Recomenda-se que as respostas dos alunos, principalmente aquelas específicas dos conteúdos de química, sejam socializadas em sala de aula numa “roda de conversa” como estratégia para diagnosticar possíveis dificuldades que ainda possam existir e oportunizar o esclarecimento das mesmas.



# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A sequência didática demonstrou-se viável e eficaz no ensino de Isomeria Óptica e Polarimetria podendo ser aplicado em ambientes com limitações estruturais.
- O uso junto ao polarímetro alternativo integrou teoria e prática, permitindo que os conceitos de isomeria óptica fossem compreendidos de forma mais fácil e contextualizada.
- As atividades propostas favoreceram o protagonismo estudantil, a aprendizagem ativa e a reflexão sobre a relevância da quiralidade em contextos científicos.
- A abordagem investigativa estimulou o raciocínio científico e a capacidade de interpretar dados experimentais, ampliando a conexão entre conhecimento químico e cotidiano.

## Conclusão

A proposta é replicável e pode ser adaptada a diferentes realidades escolares, utilizando materiais de baixo custo. O produto educacional amplia o acesso à experimentação investigativa, incentivando a criatividade, autonomia e curiosidade científica dos alunos. Espera-se que sirva como referência prática para professores que desejam integrar teoria e prática, promovendo um ensino de Química mais participativo.

