

A APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (ABP) APLICADA AO ENSINO DE QUÍMICA INORGÂNICA: AS CORES DOS MINERAIS

Problem Based Learning (PBL) in Inorganic Chemistry Education: Mineral Colours

Renata Cristina Nunes¹

Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar a aplicação da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) na disciplina Química Inorgânica 2. O problema foi criado a partir da utilização das diferenças de cores entre o rubi e a safira, apesar de ambos serem derivados do coríndon. A metodologia consistiu na elaboração de um caso adotado em uma turma de Licenciatura em Química, com a avaliação da proposta pedagógica. Embora os resultados tenham mostrado que os estudantes ainda não conheciam a ABP, a metodologia foi bem avaliada por eles. A disciplina é muito teórica e a utilização de um problema real parece ter contribuído para o aprendizado e a motivação dos estudantes, visto que houve uma diminuição da taxa de reprovação comparada àquelas de anos anteriores. Como ainda é pequeno o número de trabalhos na literatura que abordem os conceitos de ligações químicas a partir de metodologias ativas, espera-se que esse trabalho estimule outros docentes a desenvolver novas estratégias e aplicar o método relatado neste artigo.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada em Problemas. Química de Coordenação. Cores dos Minerais.

Abstract: This work aims to analyse the application of a Problem Based Learning (PBL) on inorganic chemistry 2 course. The case was created based on colours of ruby and sapphire, despite both being derived from corundum. The methodology consisted in the elaboration of a case, application with chemistry students and evaluation of the pedagogical proposal. The results showed that the students still did not know the PBL, however it was well evaluated by them. The course is very theoretical and the use of a real problem seems to have contributed to students' learning and motivation, since there were more students approved in the course compared to previous years. As there is still a small number of works in the literature that address the concepts of chemical bonds from active methodologies, it is expected that this work will encourage other teachers to use this strategy and create others.

Keywords: Problem Based Learning. Coordination Chemistry. Mineral Colours.

1 Fundamentação teórica

O relatório para a Comissão Internacional de Educação para o Século XXI, da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), aponta que

¹ Doutora em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, do *campus* Cabo Frio. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8451-6845>
E-mail nunesrenata@gmail.com

a educação ao longo da vida baseia-se em quatro pilares: aprender a conhecer; aprender a fazer; aprender a conviver; e aprender a ser. Considerando-se o aprender a conhecer, o documento destaca a importância do aprender a aprender “para beneficiar-se das oportunidades oferecidas pela educação ao longo da vida” (DELORS, 2010, p. 31).

Uma das formas mais difundidas para desenvolver essa habilidade nos dias atuais é a utilização das metodologias ativas. De acordo com Ventura (2021), essas estratégias trazem vantagens para a aprendizagem, que podem contribuir para o aprender a ser e o aprender a conviver ao desenvolver nos indivíduos uma autonomia maior, assim como aprender a respeitar o pluralismo de opiniões e a gerir possíveis conflitos.

Segundo Moran (2015, p. 15), incluir as metodologias ativas é uma forma mais “suave” das escolas estarem atentas às mudanças ocorridas na sociedade, sem deixar de lado a visão predominantemente curricular. Dentre as vantagens apresentadas pelo autor para o processo de ensino e aprendizagem, podem ser destacadas a formação de alunos proativos, criativos, reflexivos, além de tornar o processo com maior integração cognitiva, de generalização, de reelaboração de novas práticas. Conforme o autor:

Desafios e atividades podem ser dosados, planejados e acompanhados e avaliados com apoio de tecnologias. Os desafios bem planejados contribuem para mobilizar as competências desejadas, intelectuais, emocionais, pessoais e comunicacionais. Exigem pesquisar, avaliar situações, pontos de vista diferentes, fazer escolhas, assumir alguns riscos, aprender pela descoberta, caminhar do simples para o complexo. (MORAN, 2016, p. 18)

Dentre as metodologias ativas, o Estudo de Caso tem recebido destaque maior. A Universidade de Buffalo, nos Estados Unidos, tornou-se pioneira na utilização dos casos em larga escala para o ensino de Ciências, Matemática e Engenharia. A instituição possui um Centro Nacional Para Ensino de Ciências (*National Center for Case Study Teaching in Science*) utilizando esse método, em cujo *site*² é possível encontrar centenas de exemplos da utilização daquele conjunto de diretrizes e procedimentos para a transmissão desta área do conhecimento. No que diz respeito à disciplina de Química Inorgânica, há um caso que envolve a explicação da bioluminescência e as pinturas de Caravaggio. Eles destacam que se trata de um sistema versátil, exitoso e flexível para o ensino de Ciências, e categorizam quatorze formas possíveis de trabalhar os casos.

Dentro dessa classificação, a Aprendizagem Baseada em Problemas — ou PBL (*Problem Based Learning*) — apresenta-se como uma das possibilidades. As outras treze são: *Analysis Case* – para desenvolver nos estudantes habilidades de análise; *Dilemma/Decision Case* – mostra um problema individual, institucional ou comunitário que precisa ser resolvido; *Direct Case* – utilizado para ensinar conceitos básicos, pois normalmente permitem uma única resposta; *Interrupted Case* – neste, os estudantes recebem as informações aos poucos; *Clicker Case* – durante a exposição oral do conteúdo, o professor solicita algumas vezes aos estudantes que respondam perguntas sobre o conteúdo utilizado sistemas *Clickers*, que são pequenos aparelhos que permitem que os estudantes respondam rapidamente às perguntas feitas pelo professor e são registradas por um sistema; *Flipped Case* – casos são utilizados para aprofundar os conhecimentos; *Laboratory Case* – desenvolvimento de casos partindo-se de, pelo menos, uma parte experimental; *Discussion* – enquanto o professor pode assumir um papel de questionador ou de observador, normalmente utiliza os Casos de Decisão ou de Análise citados

² Disponível em: <https://www.nsta.org/case-studies>. Acesso em: 17 out. 2022.

anteriormente; *Debate* – são bem aplicados quando dois pontos de vista diametralmente opostos podem ser visualizados; *Intimate Debate* – utilizados quando os pontos de vista envolvem controvérsia; *Public Hearing* – funciona como audiências públicas promovidas por instituições; *Trial* – um caso pode ter uma etapa de julgamento, informal ou formal; *Jig-Saw* – essa técnica tem como objetivo aumentar a cooperação, fazendo com que cada componente do grupo seja responsável por aprender um tópico do material do seu grupo; e, finalmente *Role-Play* – no qual os estudantes assumem novas experiências de responsabilidade, podendo atuar, inclusive, em papéis que normalmente não assumiriam.

Do inglês, *Problem Based Learning* (PBL), a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) foi desenvolvida no Canadá, nos anos 1960, para a formação de profissionais na área de saúde (BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014). Desde então, vem se expandindo pelas mais diversas áreas e níveis de ensino. Segundo Duch, Groh e Allen (2001), a PBL possui a capacidade de desenvolver habilidades como pensamento crítico, análise e solução de problemas complexos do mundo real, e encontrar e avaliar a utilização apropriada de fontes de informação. Além disso, os alunos devem trabalhar cooperativamente, comunicar-se efetivamente e utilizar conhecimentos e habilidades intelectuais para tornarem-se aprendizes contínuos.

Rikers e De Bruin (2006 *apud* LOPES *et al.* 2011) consideram a PBL como uma das mais proeminentes protagonistas do construtivismo. Neste sentido, também há ressignificação do papel do professor. Ele vai atuar como um tutor que ajuda os estudantes por meio de questionamento, auxilia a resolver conflitos no grupo e avalia os estudantes em uma nova perspectiva, segundo a qual os estudantes são o centro do processo de ensino e aprendizagem (KAUFMAN; HOLMES, 1996). A respeito dessas modificações, Donnelly e Fitzmaurice afirmam que

No ensino presencial, a introdução de métodos baseados em projetos implica no reconhecimento de que haverá um controle menor do tutor no processo de aprendizagem e que estudantes devem aceitar uma maior responsabilidade para organizar sua própria experiência de aprendizagem, além disso, a avaliação é muito mais complexa já que cada grupo terá uma resposta única (DONNELLY; FITZMAURICE, 2005, p. 6).

De acordo com Schultz e Christensen (2004), a ABP envolve etapas que promovem integração entre teoria e prática, trabalho em grupo e individual, momentos dentro e fora de sala de aula e análise e resolução de um problema relacionado ao mundo real. Conforme Herreid (1998), a metodologia começa com a apresentação de um problema que deve ter algumas características para ser considerado bom: o caso precisa narrar uma história; despertar o interesse pela questão; deve ser atual; criar empatia com os personagens centrais; incluir diálogos; ser relevante para o leitor; ter utilidade pedagógica; provocar um conflito; formar uma decisão; ter generalizações e ser curto.

Após analisar diversos trabalhos, Queiroz (2012) sistematizou as etapas que a PBL deve conter. Segundo a autora, eles podem ter ligeiras variações, entretanto “[...] os passos essenciais que se referem à formulação dos objetivos, prática da pesquisa e discussão coletiva são comuns a todas as versões encontradas” (QUEIROZ, 2012, p. 33).

1. Distribuição e leitura do problema e identificação dos termos desconhecidos;
2. Interpretação e discussão do texto. Identificação do problema central e das palavras-chave;



3. Levantamento do conhecimento prévio com formulação de hipóteses (*brainstorm*);
4. Resumir as hipóteses possíveis elaborando uma síntese da discussão;
5. Elaboração dos objetivos de aprendizagem e identificação das estratégias de pesquisa a serem percorridas (as fontes bibliográficas sugeridas e os recursos disponíveis);
6. Pesquisa e elaboração individual concernentes aos objetivos propostos.;
7. Síntese da Abertura. Discussão do problema a partir das pesquisas realizadas, efetivando a ‘solução’ do problema; Síntese final; elaboração posterior de relatório pelo relator. (QUEIROZ, 2012, p. 33-34)

Na literatura são encontrados alguns trabalhos que tratam da utilização da ABP para o ensino de Química no nível superior. Como exemplos, na área de Química Inorgânica há os trabalhos de Lima, Arenas e Passos (2011), que utilizaram o Salar de Uyuni, na Bolívia, com o objetivo de ensinar ligações químicas. Há também o trabalho de Gomes, Mendes e Calefi (2016), que descreve a metodologia para trabalhar conceitos de química descritiva, ligações químicas e interações moleculares. Belt *et al.* (2002) propuseram vários recursos para o ensino de química analítica voltado para as áreas industrial, farmacêutica, ambiental e forense. Para a área de Química Verde, Heaton *et al.* (2006) utilizam o desafio de encontrar substitutos para os clorofluorcarbonetos. Além dessas propostas mencionadas, diversos repositórios de recursos utilizando a PBL podem ser encontrados na internet, como o já citado anteriormente da Universidade de Buffalo e também os disponíveis no *site* da *Royal Society of Chemistry*³.

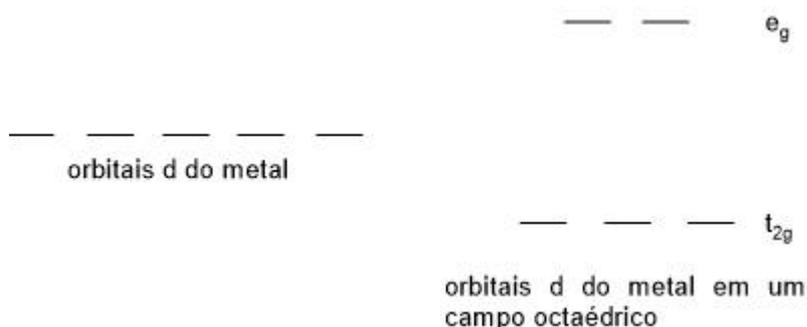
São raros os artigos que propõem o estudo de ligações químicas utilizando abordagens investigativas (LIMA; ARENAS; PASSOS, 2018). Não foram encontrados na literatura trabalhos que relatem a utilização da PBL para o ensino das ligações que ocorrem em complexos de metais de transição — conteúdo bastante comum em disciplinas da área de Inorgânica. Foi encontrado um trabalho que utiliza a Teoria dos Orbitais Moleculares (TOM) aplicada à nanociência (WILLIAMS, 2019). As ligações nos compostos de coordenação podem ser explicadas a partir de três teorias principais: Teoria da Ligação de Valência (TLV); Teoria do Campo Cristalino (TCC); e Teoria dos Orbitais Moleculares (TOM). A TLV não será conceituada neste trabalho, visto que não contribui para a resposta do problema criado.

A TCC foi a primeira teoria capaz de explicar as cores exibidas pela maior parte dos compostos de coordenação. Este conceito considera que a interação que ocorre entre o metal e os ligantes possui natureza eletrostática. Nesta teoria, os ligantes são tratados como cargas pontuais negativas, que, ao interagirem com o metal, ocasionam um desdobramento da energia dos orbitais d. O padrão de desdobramento depende da geometria do complexo formado. Em um complexo octaédrico — quando seis ligantes se aproximam do metal pelos eixos cartesianos —, eles causam uma perda da degenerescência dos orbitais d do metal, resultando em dois conjuntos de orbitais: três de menor energia, que os orbitais d originais (recebem a sigla t_{2g}), e dois com energia maior, que a inicial (identificados como e_g), conforme Figura 1 (ATKINS *et al.*, 2008). As transições eletrônicas de elétrons ocupam o nível t_{2g} para orbitais vazios e_g são responsáveis pelas cores exibidas por alguns compostos de coordenação, quando essas transições correspondem à região visível do espectro eletromagnético.

³ Disponível em: <https://edu.rsc.org/problem-based-learning/115069.subject>. Acesso em: 17 out. 2022.



Figura 1 - Desdobramento dos orbitais d de um metal em um campo octaédrico.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

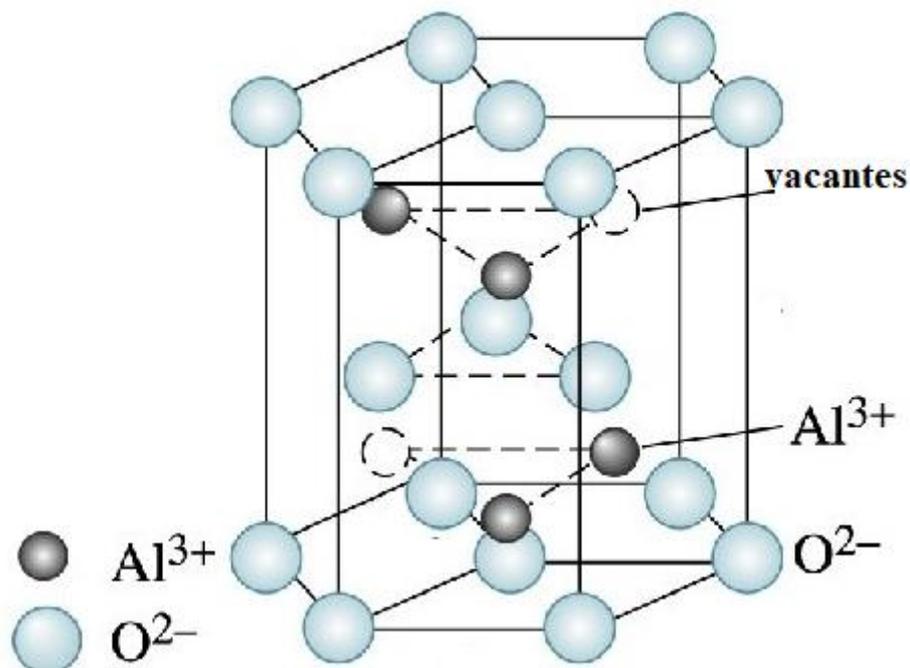
A TOM considera a ligação como sendo covalente e utiliza a combinação dos orbitais atômicos para gerar os orbitais moleculares ligantes, antiligantes e não ligantes. Esta disposição depende da simetria e energia adequada dos orbitais atômicos das espécies que estão formando a ligação. Nessa teoria, podem ser trabalhadas tanto a formação das ligações *sigma* quando as *pi* (ATKINS *et al.*, 2008).

Este trabalho tem como objetivo principal identificar as formas de contribuição do uso da ABP para o aprendizado e a formação profissional de licenciandos em Química, no que tange aos aspectos teóricos e práticos da metodologia ABP, associada ao conteúdo de TCC, e a TOM, para explicar as cores do rubi e safira. Na sequência, essa proposta foi aplicada na disciplina de Química Inorgânica II, que trabalha compostos de coordenação em uma turma de licenciatura em Química. A experiência foi avaliada por meio da aplicação de questionários que avaliavam a atividade em si e também uma autoavaliação. O tema cores de minerais foi selecionado neste trabalho, pois, em minha experiência, observo que ao trabalhar as causas das cores — mesmo dos compostos de coordenação convencionais —, os alunos sentem-se atraídos pelo assunto. A proposta apresentada neste trabalho é flexível, dado que se pode escolher trabalhar apenas a parte que utiliza a TCC ou também envolvendo a TOM.

A TCC permite, por exemplo, estabelecer um estudo comparativo das cores do rubi e do coríndon. As duas gemas apresentam a estrutura cristalina mostrada na Figura 2. O coríndon trata-se de um mineral incolor, quando puro, e formado por óxido de alumínio (Al_2O_3) (FRITSCH; ROSSINUN, 1987, 1988). Nessa estrutura, cada alumínio é rodeado por seis oxigênios⁻, enquanto cada oxigênio está envolto por quatro alumínio. Apenas dois terços das posições nesse arranjo octaédrico são ocupadas, enquanto as demais permanecem vacantes. A presença de Cr^{3+} em pequenas quantidades, substituindo alguns cátions Al^{3+} , dá origem ao rubi. Os orbitais d semipreenchidos do Cromo permitem transições eletrônicas entre os níveis t_{2g} e e_g . Essas transições absorvem energia na faixa de cor correspondente ao amarelo-esverdeado e, conseqüentemente, a emissão ocorre no vermelho. Além destes, outros minerais têm seu mecanismo de cores explicado por essa teoria, tais como Turmalina, Olivina, Granada Almandina, Granada Andratita, Crisoberilo, entre outros (KLEIN; DUTROW, 2012).



Figura 2 - Estrutura cristalina do coríndon.



Fonte: Adaptado de Askeland *et al.* (2003)

As transições de transferência de carga explicadas pela TOM são responsáveis pelas cores de minerais, tais como Água-Marinha, Safira, Cianita, Cordierita. Neste processo, uma carga negativa, como um elétron, transfere-se de um átomo para outro. A safira — outro mineral abordado nesse trabalho — também possui a estrutura do coríndon, no entanto, sua cor azul é atribuída a pequenas quantidades de Ferro ou Titânio. A transferência de carga que ocorre nesse caso é do Fe^{2+} para o Ti^{4+} . Como esses íons substituem o Al^{3+} no cristal de coríndon, para que essa transferência possa ocorrer, esse elétron passa pelo átomo de oxigênio. Este processo torna-se possível porque na formação dos cristais, quando há a sobreposição dos orbitais atômicos, os níveis de energia dos orbitais desses íons envolvidos encontram-se tão próximos que formam bandas. Este fenômeno passa a ser mais significativo na presença desses íons do que na do alumínio por duas razões: a primeira está relacionada aos níveis de energia desses íons de transição mais próximos daqueles do oxigênio (comparando-se àqueles do alumínio com o oxigênio); e a segunda diz respeito às funções de onda dos orbitais 3d serem maiores e permitirem uma maior sobreposição com as funções de onda do oxigênio (TIPPINS, 1970; FRITSCH; ROSSINUN, 1988).

O trabalho está organizado da seguinte forma: na metodologia serão apresentados o problema utilizado na proposta, a forma como foi elaborado, aplicado e avaliado por meio de questionários utilizados com a turma — que também são apresentados. Nos resultados e discussões serão expostas as observações da aplicação na turma de Licenciatura em Química e a avaliação da proposta realizada por eles. Por fim, apresentam-se as considerações finais e as referências.



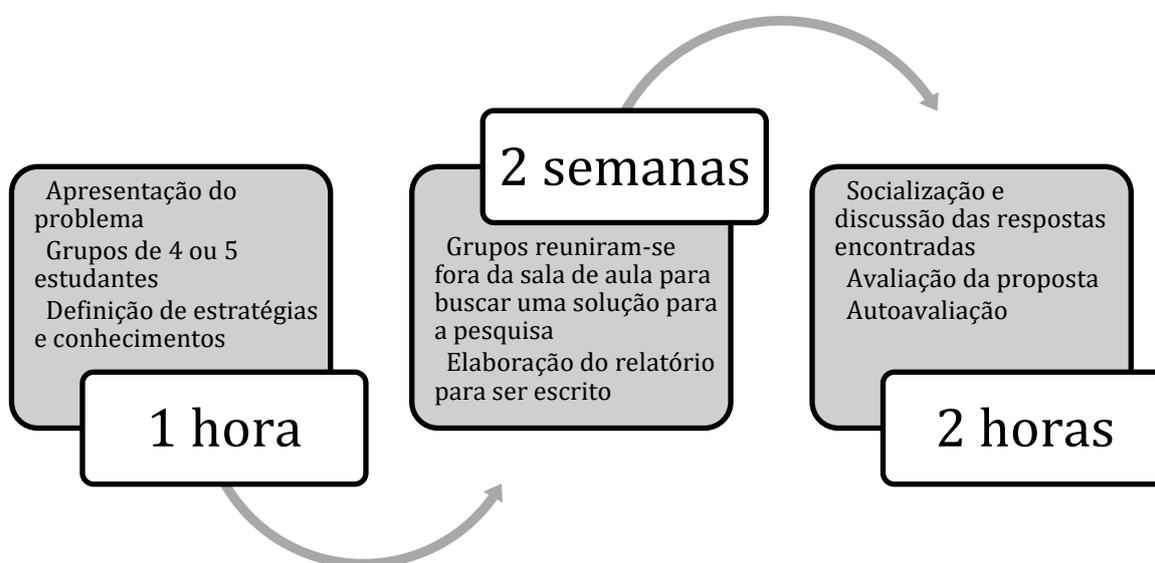
2 Metodologia

A pesquisa apresentada configura-se como um estudo de caso de caráter qualitativo. Segundo André (1984, p. 52), “os estudos de caso enfatizam a interpretação em contexto”. A autora afirma, ainda, que esse tipo de estudo visa à descoberta e, mesmo partindo de pressupostos iniciais, o pesquisador deve ficar atento para aspectos não previstos que podem emergir da experiência.

Esse trabalho visou observar a aplicação da metodologia ABP em uma turma da disciplina de Química Inorgânica 2 do curso de Licenciatura em Química, do campus Cabo Frio, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF). A disciplina é ofertada no quarto semestre do curso. A turma era composta por 16 estudantes, sendo que sete deles já haviam cursado a disciplina anteriormente e, ou haviam sido reprovados ou desistiram antes de concluir.

A fim de propor uma abordagem sobre as principais teorias de ligações em compostos envolvendo metais de transição, as diferenças de cores entre os minerais rubi e safira foram utilizados como contextualização para a elaboração da situação-problema. A atividade foi desenvolvida ao longo de quatro semanas, envolvendo momentos dentro e fora de sala de aula, e dividida em três etapas, conforme apresentado na Figura 3. A sequência adotada foi adaptada de estudos anteriores (QUEIROZ, 2012; LIMA; ARENAS; PASSOS, 2011)

Figura 3 - Etapas da aplicação da PBL na turma de Licenciatura em Química.



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

No dia da realização da primeira etapa, 14 dos 16 estudantes encontravam-se em sala. Foi solicitado que eles organizassem três grupos (que serão chamados de Grupo 1, Grupo 2 e



Grupo 3, sem identificação dos estudantes) com quatro ou cinco estudantes cada e que os ausentes deveriam, posteriormente, participar em um dos grupos formados.

O problema apresentado a eles (Figura 4) foi elaborado objetivando-se atingir o maior número possível das características que Herreid (1998) considera como ideais para ser considerado um bom caso. Por meio da apresentação de uma conversa informal pelo WhatsApp — um aplicativo muito utilizado pelos jovens —, busca-se criar empatia com os personagens ao abordar um tema que, na minha experiência, atrai a atenção dos estudantes (causas das cores) e tenta provocar um conflito.

A conversa fictícia ocorrida no WhatsApp foi feita no *site Fake Whatsapp*⁴. O caso criado simula uma conversa em um grupo de amigos químicos naquele aplicativo de troca de mensagens, em que um deles compartilha com os demais uma dúvida de um professor que trabalha com ele. Na conversa, ele descreve que esse professor gostaria de uma explicação para a diferença de cores apresentadas pelo rubi e pela safira, que possuem composição semelhante.

Figura 4 - Problema proposto à turma para desenvolvimento da atividade de PBL.

Rafael formou-se recentemente como Licenciado em Química e começou a dar aulas em uma faculdade privada. Certo dia, no intervalo entre as aulas, o professor da disciplina Mineralogia levou a ele a seguinte questão: o rubi e a safira basicamente o mesmo mineral, o *córidon*. Como que, com composição tão similar, uma das gemas preciosas pode ser vermelha e a outra azul? Ele pensa a respeito, mas não sabe responder de imediato. Diz ao colega que vai pesquisar e conversar com alguns amigos. Rafael vai direto ao grupo do WhatsApp dos seus ex-colegas de turma e abaixo está registrada a conversa que ocorre entre eles.

Suponha que você esteja nesse grupo do WhatsApp e quer ajudar seu amigo a responder a questão. Como ele deve responder?

The figure displays two side-by-side screenshots of a WhatsApp chat group titled 'Galera Química' with 45 members. The chat history includes the following messages:

- 15:19: Fala galera!
- 15:22: Grande Rafa!
- 15:23: Oi Rafinhaaaa!!!
- 15:25: Vocês sabem que comecei a dar aula de Química, né? Ontem um professor veio me perguntar uma coisa e eu não soube responder. O pior é que além de professor ele é coordenador do curso então não quero ficar mal com o cara. Estou precisando de um help de vocês.
- 15:26: Manda aí cara!
- 15:28: Vocês sacam alguma coisa de pedra? Porque ele me falou que o rubi e a safira são feitos basicamente da mesma coisa e quer saber porque tem cores tão diferentes assim...
- 15:30: Feitos basicamente da mesma coisa não significa que é 100% igual...deve ter mais alguma coisa...
- 15:40: Andei dando uma pesquisada e eles tem umas impurezas sim, de metais de transição. Mas impuro não é ruim? Porque custam tão caro? kkk

Fonte: Diálogo fictício criado para os fins da atividade utilizando o www.fakewhats.com (2021)

⁴ Disponível em: www.fakewhats.com. Acesso em 17 out. 2022.



Eles tiveram uma hora para levantar as possíveis respostas para o problema. Nesse momento, foi solicitado que eles não buscassem as respostas na internet. Eles deveriam, ainda, preencher e entregar um relatório parcial para levantar quais conhecimentos seriam necessários para dar uma solução ao problema e também quais seriam as estratégias de pesquisa, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Relatório preliminar após as discussões ocorridas em sala de aula.

RELATÓRIO PARCIAL			
DEFINA O PROBLEMA:			
COM RELAÇÃO AO PROBLEMA		COM RELAÇÃO AO GRUPO	
HIPÓTESES	FATOS	QUESTÕES DE PESQUISA	ESTRATÉGIAS DE PESQUISA
Levante possíveis causas do problema (atividade individual sem censura do grupo).	Procure, no problema, evidências para suas hipóteses (atividade com discussão).	Registre conceitos administrativos relevantes para dar solução ao problema.	Planeje como o grupo irá buscar os conceitos (quem, como, o que, quando).
Líder:	Redator:	Porta-voz:	Membro(s):

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2005)

Na segunda etapa, os grupos reuniram-se fora do horário de aula para encontrar respostas para o problema, utilizando as fontes de consulta que desejassem. Na última etapa, em sala de aula, cada grupo fez uma exposição oral para tentar responder ao problema lançado. As respostas formuladas por eles também foram entregues em um trabalho escrito. Para o fechamento do conteúdo, a professora fez uma breve exposição sobre como as cores são

explicadas pela TCC e TOM, dando ênfase às cores dos minerais e preenchendo as lacunas deixadas pelas respostas apresentadas pelos estudantes. Finalmente, como se tratava de uma atividade avaliativa, os alunos foram solicitados a responder dois questionários: um para fazer a avaliação da proposta pedagógica (Figura 6) e outro para autoavaliação e avaliação dos seus colegas de grupo (Figura 7). Os questionários foram adaptados a partir daqueles desenvolvidos por Ribeiro (2005) e foram analisados através da Análise de Conteúdo (BARDIN, 1977).

Figura 6 - Questionário de avaliação da proposta pedagógica.

Código da Disciplina:	Grupo:
Nome da Disciplina:	Problema:
Professor Responsável:	Data: /.... /....

Escala de Avaliação: Usem a seguinte escala para avaliar o problema e o processo educacional: (E) excelente; (B) bom; (R) regular; e (I) insuficiente.

Avaliação do Problema – considerem os seguintes critérios:	
Critérios:	Avaliação
6. Motivação
7. Relevância
8. Integração de conhecimentos
9. Facilidade de obtenção de material
10. Tempo para compleição das atividades
11. Apresentação dos produtos (resultados)
12. Alcance dos objetivos educacionais
13. Outro:

Comentários. (Usem este espaço para fazer os comentários que julgarem necessários sobre as avaliações acima, indicando como o caso/problema pode ser melhorado)

Síntese de Conceitos. (Usem este espaço para sintetizar e explicitar novos conceitos aprendidos durante o processo de solução do caso/problema e colocar perguntas sobre pontos que considerem ainda obscuros)

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2005)

Figura 7 - Questionário de autoavaliação.

Código da Disciplina:	Grupo:
Nome da Disciplina:	Problema:
Professor Responsável:	Data: /.... /....

Escala de avaliação: Use a seguinte escala para avaliar a si mesmo(a) e aos outros membros de sua equipe: (E) excelente; (B) bom; (R) regular; e (I) insuficiente.

Avaliação de membros da equipe. Ao avaliar a si mesmo e os outros membros da sua equipe, considere o seguinte: Você ou a pessoa estava presente em todos os encontros na sala de aula, veio preparado(a) para a discussão e contribuiu para a discussão em grupo? Você ou a pessoa fez perguntas relevantes e respondeu as perguntas dos outros? Você ou a pessoa dispôs-se a realizar tarefas fora da sala de aula e a trazer material relevante para a discussão em grupo? Você ou a pessoa foi um(a) bom(a) ouvinte e respeitou as opiniões dos outros? Você ou a pessoa contribuiu para a organização geral da equipe e para a construção de consenso?

Nome dos membros do grupo:	Avaliação
1. Meu nome é.....
2.
3.
4.
5.

Comentários (Use este espaço para fazer comentários que julgar necessários sobre as avaliações acima)

Comentários gerais sobre o funcionamento e desempenho do grupo. (Use este espaço para colocar quaisquer dificuldades encontradas pelo grupo e estratégias de superação, implementadas ou passíveis de serem implementadas em grupos futuros)

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2005)



3 Resultados e discussões

A disciplina de Química Inorgânica 2 é ofertada anualmente e vem apresentando um alto índice de reprovação, conforme apresentado na Tabela 1. Os dados retratam a disciplina desde a criação do curso. Observam-se algumas turmas com taxas de reprovação mais baixas, mas, no geral, é uma disciplina na qual os alunos reclamam de dificuldades de aprendizagem. Destaca-se que não houve alteração de docente nessa disciplina durante o período analisado. Acredito que a utilização de metodologias ativas tenha contribuído tanto para que o aprendizado fosse significativo como para a diminuição da reprovação. A experiência descrita neste trabalho não foi a única alteração proposta na disciplina em 2019. Houve uma mudança na sequência com a qual os conteúdos foram apresentados aos estudantes e, também, na forma de entrega dos exercícios. Anteriormente, os estudantes entregavam as listas resolvidas. Nesta turma, semanalmente, alguns estudantes eram sorteados e resolviam questões no quadro.

Tabela 1 - Taxa de reprovação na disciplina de química inorgânica 2 no período entre 2012 e 2019.

Ano	Número de alunos matriculados	Reprovação/%
2012	12	50
2013	10	70
2014	9	33
2015	4	0
2016	6	17
2017	6	83
2018	9	56
2019	16	13

Fonte: Autora (2021)

Quando o problema mostrado na Figura 4 foi proposto à turma, o conteúdo inicial de TCC já havia sido ministrado. Eles já haviam estudado os complexos de geometria octaédrica, o cálculo da Energia de Estabilização do Campo Cristalino (EECC) para complexos de campo forte e fraco. No entanto, ainda não haviam sido abordados os fatores que afetam a magnitude do desdobramento do campo. Após a leitura do problema, eles se organizaram em grupos e deram início às discussões das prováveis respostas para a questão, baseando-se somente no conhecimento que tinham, dispensando a condição do recurso de recorrer à consulta à internet.

Os estudantes perguntaram sobre qual assunto da disciplina tratava-se o problema, que não foi respondido para tentar não induzir padrões de respostas. Essa pergunta é muito enriquecedora para o estudo, pois evidencia — como será observado em outros momentos — o quanto os estudantes estão acostumados com modelos tradicionais, aos quais, após a exposição do conteúdo, ocorrem atividades relacionadas àquele. Quando perguntaram se poderiam saber a fórmula do coríndon, ela foi escrita no quadro. Após esse período de discussão, cada grupo entregou o relatório parcial preenchido (Figura 5). As respostas de cada grupo são analisadas em seguida.



O Grupo 1 era formado por cinco estudantes que já haviam cursado a disciplina antes e tinham sido reprovados ou desistiram. Esse grupo propôs que as impurezas presentes no rubi e safira apresentassem tamanhos diferentes; sendo assim, vão afetar se o *spin* será alto ou baixo. De fato, a TCC prevê que um dos fatores que afetam a EECC é a natureza do metal e essa energia costuma aumentar à medida que descemos em uma tríade na tabela periódica. Um aumento na EECC resulta em uma variação na transição eletrônica, que, caso ocorra na região do visível, impactará na cor observada do material. Como tratado anteriormente, os fatores que afetam a magnitude da EECC ainda não haviam sido trabalhados nesse semestre. Portanto, eles fizeram um resgate do conteúdo do ano anterior, quando não finalizaram a disciplina com êxito. Eles foram capazes de estabelecer uma relação entre a diferença de energia entre os orbitais t_{2g} e e_g do campo octaédrico (EECC) e as cores observadas. No entanto, essa resposta não é capaz de resolver a questão das cores do rubi e safira.

O Grupo 2 possuía três estudantes que estavam cursando a disciplina pela primeira vez e dois estudantes que já haviam cursado anteriormente. Esse grupo argumentou que as cores dos minerais deveriam depender da região onde são formados, da abundância de impurezas que levaria a formar compostos com geometrias e o número de oxidação dos metais de isomeria diferentes. Nessa resposta, percebe-se que a ênfase está em explicar porque há modificação na impureza presente e que esta condição determina diversas variações no mineral formado. Quando comparado ao Grupo 1, esse grupo diversificou as razões que poderiam estar por trás da diferença de cores, principalmente com a utilização de conceitos que já haviam sido ministrados na disciplina, como isomeria, número de oxidação e geometria.

O Grupo 3 foi formado por quatro estudantes que estavam cursando a disciplina pela primeira vez. Esse grupo também relacionou a diferença de cores com o local onde os minerais são formados, mas ressaltando a diferença de que a temperatura e pressão poderiam ocasionar. Levantaram, ainda, que pode haver diferença entre número de oxidação, número de coordenação, ligantes e geometrias. Como já haviam estudado TLV, já conheciam complexos de *spin* alto e baixo e a tentativa de fazer essa relação fica evidenciada nas respostas dos estudantes. A TLV não é capaz de explicar as cores dos compostos de coordenação, no entanto, consegue explicar as diferentes propriedades magnéticas quando fatores citados pelos estudantes são modificados.

Os três grupos indicaram que os fatos presentes no caso, que os levaram a essas hipóteses, foi a menção às impurezas. Nenhum dos grupos conseguiu nesse momento responder corretamente à diferença de cor observada. Após esse primeiro momento em sala, os estudantes tiveram duas semanas para realizar pesquisas nas fontes que desejassem. Os três grupos haviam registrado na primeira etapa que utilizariam livros e internet. Eles foram orientados a redigir um material a ser entregue e também preparar uma apresentação para compartilhar com a turma. Neste intervalo, o conteúdo continuou sendo trabalhado em sala, encerrando-se TCC e dando início à TOM aplicada a complexos.

Apenas dois grupos entregaram as respostas (o Grupo 1 e o Grupo 3), e somente alguns estudantes do Grupo 2 estavam presentes nesse dia. O Grupo 1 fez um resumo dos fatores que afetam o desdobramento das cores do campo cristalino, destacando, sobretudo, a influência dos ligantes. A influência dos ligantes na EECC é um fator bem estabelecido na TCC, verificado experimentalmente através da série espectroquímica. Apesar de o texto deles estar correto dentro da teoria, não fez qualquer relação com o problema apresentado. A resolução para o problema não está nos ligantes e, sim, nos metais presentes como impurezas.

O Grupo 3 conseguiu responder corretamente ao problema apresentado. Eles elaboraram as respostas no formato de artigo científico, no qual detalharam aspectos gerais relacionados às



cores para, então, destacarem os fatores que afetam as cores nos compostos de coordenação. Na última parte, fundamentando corretamente as cores observadas, fizeram a relação com as cores do rubi e da safira. Como no trabalho, eles citaram as referências utilizadas. Foi possível perceber que utilizaram livros que tratam diretamente do assunto, como o Manual de Ciência dos Minerais (KLEIN, 2012).

Após esse momento, no qual os grupos apresentaram suas respostas, foi feito o fechamento da ABP. Nesta fase, a professora fez uma apresentação explicando as cores dos complexos, como os efeitos que impactam na EECC podem provocar modificações nas cores e também de diferentes minerais a partir da TCC e TOM. Dessa forma, as cores do rubi e da safira puderam ser explicadas.

Um ponto surpreendente que emergiu dessas respostas foi que os estudantes não conheciam a ABP. Eu esperava que, no quarto período do curso, em algum momento, outro professor tivesse utilizado essa metodologia com eles ou mesmo que tivesse surgido em alguma discussão, visto que eles cursam disciplinas da área de educação desde o primeiro período. Este resultado ressalta a importância de trabalhar metodologias ativas de ensino para que os futuros professores se tornem mais proativos em seu processo de aprendizagem e possam utilizar essas estratégias na atuação profissional.

Para a avaliação da proposta foi solicitado que os estudantes preenchessem dois questionários: Avaliação do Processo Educacional (um questionário para o grupo) e Avaliação do desempenho (individual). A Avaliação do Processo Educacional permitiu avaliar a metodologia utilizando os critérios de motivação, relevância, integração dos conhecimentos, facilidade de obtenção de material e tempo para compleição das atividades. Cada um dos itens deveria ser avaliado como excelente, bom, regular ou insuficiente.

Com relação à motivação e relevância, os três grupos classificaram o problema como excelente. A integração dos conhecimentos foi classificada como excelente por um dos grupos e como boa pelos outros dois. Os três grupos consideraram regular a facilidade para a obtenção do material para as respostas. Esta dificuldade ficou ainda mais evidente nas respostas dadas à ficha de avaliação de desempenho, onde também havia espaço para comentários a respeito do funcionamento do grupo. Em vários trechos os estudantes destacaram que inicialmente ficaram concentrados em pesquisar em livros de Química Inorgânica. Foi somente quando decidiram mudar o método de pesquisa — incluindo outras disciplinas — que conseguiram encontrar material para resolver o problema. Estes resultados mostram o potencial interdisciplinar que esse tipo de metodologia tem para desenvolver habilidades diversas nos estudantes ao lidarem com problemas reais, que não se situam apenas em uma disciplina específica. Muitas vezes eles têm dificuldades de perceber que a Química é uma ciência única, na qual conceitos aprendidos em uma disciplina também são utilizados em outra.

A respeito do tempo que tiveram para finalizar a atividade, dois grupos consideraram bom e um grupo considerou excelente. Nesse mesmo questionário havia um espaço para que tecessem comentários que julgassem necessários, assim como eventuais sugestões para melhorar a proposta e também um espaço para que pudessem sintetizar os conceitos aprendidos. Com relação aos novos conhecimentos construídos, os estudantes surpreenderam-se que as cores de alguns minerais dependam dos mesmos fatores que afetam o desdobramento do campo cristalino (estado de oxidação do metal, tipo de metal presente, natureza do sítio em que o metal se situa).

No questionário de Avaliação de Desempenho, além de avaliarem a si mesmos, deveriam também avaliar os outros membros da equipe. Além disso, havia espaço para fazerem comentários a respeito dessas avaliações e também sobre o funcionamento e desempenho do

grupo. Os Grupos 1 e 3, no geral, avaliaram-se como excelente ou bom. No campo das observações, novamente destacaram que tiveram que mudar o método de pesquisa para conseguirem sanar as dificuldades. O Grupo 2, que não entregou a atividade escrita, avaliou-se predominantemente como regular e acrescentaram que tiveram dificuldade de encontrar informações referentes ao tema fora da sala de aula, visto que, como são de períodos diferentes, não houve conciliação de horários.

4 Considerações finais

As metodologias ativas aparecem com cada vez mais frequência na literatura. No entanto, predominam os estudos com turmas do Ensino Médio. Há poucos trabalhos que relatam a utilização com estudantes da Licenciatura em Química, sobretudo em disciplinas da área de inorgânica. A metodologia de ABP, apesar de não ser nova, ainda era desconhecida pelos estudantes da licenciatura que participaram dessa pesquisa. A atividade foi bem avaliada por eles. Associada a outras mudanças ocorridas na disciplina, ocasionou em uma redução nos índices de reprovação.

Pela minha experiência, o estudo dos fenômenos relacionados às causas das cores tem um enorme potencial para despertar o interesse dos estudantes. As pedras preciosas são objeto de fascínio e admiração desde períodos antigos da História da Humanidade. Na atividade desenvolvida, eles tiveram que lidar com um problema real, cujo caráter interdisciplinar possui relação intrínseca com o conteúdo que estavam estudando, que era TCC e TOM aplicada aos compostos de coordenação. A disciplina é bastante conceitual e, apesar de observarem as cores dos compostos de coordenação na disciplina de Química Inorgânica Experimental, nem sempre a relacionam com a teoria estudada.

Este estudo mostrou que esse tipo de estratégia os desafia e motiva a buscar e aprender novas informações e tentar aplicá-las ao problema apresentado. A maior dificuldade relatada por eles foi encontrar as informações para responder à pergunta, pois não estavam nos livros de Química Inorgânica. Os estudantes estão mais habituados com atividades mais tradicionais, que segregam a Química a áreas específicas, e, muitas vezes, têm dificuldade em interrelacionar conteúdos. A habilidade de aprender a buscar as informações e utilizá-las em um contexto diverso faz parte do que se espera de um futuro professor. Além disso, esse contato com metodologias ativas, enquanto discentes, pode incitá-los a utilizá-las quando estiverem atuando em sala de aula.

Essa atividade será utilizada com novas turmas da disciplina, visto que foi considerada bastante satisfatória e parece ter contribuído para a melhora do processo de ensino e aprendizagem. Nessas futuras aplicações, uma das possibilidades é modificar o momento no qual a metodologia é proposta, como, por exemplo, após o encerramento das teorias de ligações. Talvez com essa alteração, as respostas da fase inicial possam ser melhor pensadas por eles. Espera-se que este trabalho estimule outros docentes a utilizar metodologias ativas no ensino superior, em especial esta que foi descrita aqui.

Referências

ANDRÉ, M. E. D. A. Estudo de caso: seu potencial na educação, **Cadernos de Pesquisa**, v. 49, p. 51-54, 1984.

ASKELAND, Donald. R. *et al.* **The science and engineering of materials**. 4a ed., CL Engineering, 2003.

ATKINS, Peter William. *et al.* **Química inorgânica**. 4a ed, Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores SA, 2008.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BELT, Simon. T. *et al.* A problem based learning approach to analytical and applied Chemistry. **University Chemistry Education**, v. 6, n. 2, p. 65–72, 2002. Disponível em: https://amser.org/r17086/a_problem_based_learning_approach_to_analytical_and_applied_chemistry. Acesso em: 20 mar. 2022.

BOROCHOVICIUS, Eli; TORTELLA, Jussara Cristina Barboza. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, v. 22, p. 263-294, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ensaio/a/QQXPb5Sbp54VJtpmvThLBTc/?lang=pt>. Acesso em: 17 out. 2022.

DELORS, Jacques. **Educação um tesouro a descobrir. Relatório para a Unesco da Comissão Internacional sobre a Educação para o Século XXI**. 6. ed. Tradução José Carlos Eufrázio. São Paulo: Cortez, 2001.

DONNELLY, Roisin; FITZMAURICE, Marian. Collaborative Project-based Learning and Problem-based Learning in Higher Education: a consideration of tutor and student role in learner-focused strategies. *In*: O'Neill, G.; Moore, S.; McMullin, B. (eds) **Emerging Issues in the Practice of University Learning and Teaching**, Dublin, AISHE/HEA, 2005, p. 87-98.

DUCH, Barbara. J.; GROH, Susan. E.; ALLEN, Deborah. E. Why problem-based learning? A case study of institutional change in undergraduate education. *In*: Barbara. Duch, Susan. Groh, & Deborah. Allen (Eds.), **The power of problem-based learning**, Sterling, VA: Stylus, 2001, p. 3-11.

FRITSCH, Emmanuel; ROSSINUN, George R. An update on color in gems. Part 1: introduction and colors caused by dispersed metal ions. **Gems&Gemology**, v. 23, n. 3, p. 126-139, 1987. Disponível em: <https://www.gia.edu/doc/An-Update-on-Color-in-Gems-Part-1-Introduction-and-Colors-Caused-by-Dispersed-Metal-Ions.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.

FRITSCH, Emmanuel; ROSSINUN, George R. An update on color in gems. Part 2: colors involving multiple atoms and color centers, **Gems&Gemology**, v. 24, n. 1, p. 3-15, 1988. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326300430_AN_UPDATE_ON_COLOR_IN_GEMS_PART_2_COLORS_INVOLVING_MULTIPLE_ATOMS_AND_COLOR_CENTERS/link/5b44affb0f7e9b1c722075c1/download. Acesso em: 02 dez. 2021.

GOMES, Wanderson Guimarães Batista; MENDES, Ana Nerly Furlan; CALEFI, Roberta Maura. A utilização da Aprendizagem Baseada em Problemas para o Ensino de Química Inorgânica num curso de Licenciatura em Química. *In*: ENCONTRO NACIONAL DO

TIPPINS, Harry. H. Charge-Transfer Spectra of Transition-Metal Ions in Corundum. **Physical Review B**, v. 1, n. 1, p. 126–135, 1970.

VENTURA, P. P. B. O uso de softwares na aprendizagem baseada em problemas. **#Tear:** Revista de Educação, Ciência e Tecnologia, Canoas, v. 10, n. 1, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/tear/article/view/4527>. Acesso em: 17 out. 2022.

WILLIAMS, Dylan. **Chemistry's interfaces:** The Nano Frontier. Reino Unido, p. 123-136, 2019. Disponível em: <https://edu.rsc.org/resources/chemistrys-interfaces-the-nano-frontier/946.article>. Acesso em: 9 dez. 2021.

Recebido em agosto de 2022.

Aprovado em novembro de 2022.