QUÍMICA AMBIENTAL: POLUIÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS

Guilherme Salvador Peres Neto
Denise Bevilaqua
Vagner Antonio Moralles

Guilherme Salvador Peres Neto
Denise Bevilaqua
Vagner Antonio Moralles

QUÍMICA AMBIENTAL: POLUIÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS

Universidade Estadual Paulista
Instituto de Química de Araraquara
2025

Química Ambiental: poluição e recuperação de metais pesados © 2025 by Guilherme Salvador Peres Neto, Denise Bevilaqua and Vagner Antonio Moralles is licensed under CC BY-NC-SA 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

FICHA CATALOGRÁFICA

Peres Neto, Guilherme Salvador
P437q Química ambiental : poluição e recuperação de metais pesados / Guilherme Salvador Peres Neto, Denise Bevilaqua, Vagner Antonio Moralles. – Araraquara : Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, 2025.
PDF (45 p.) : il. color.
Online

1. Química ambiental. 2. Metais pesados. 3. Material didático. 4. Educação ambiental. 5. Estratégias de aprendizagem. I. Bevilaqua, Denise. II. Moralles, Vagner Antonio. III. Título

CDD 370

Biblioteca do Instituto de Química, Unesp, câmpus de Araraquara
Bibliotecária: Ana Carolina Gonçalves Bet - CRB8/8315

ORGANIZAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Introdução

PREFÁCIO

A utilização de uma Unidade didática Multiestratégica (UDM) como modelo de planejamento de ensino está baseada na premissa de que não são atividades pontuais e isoladas que promovem o aprendizagem dos estudantes, mas sim, um processo estruturado de maneira crítica e bem fundamentada.

Ao fim de todas as tarefas do modelo da UDM, a intenção do planejamento é o favorecimento dos objetivos de aprendizagem em sala de aula por meio de ações organizadas de forma racional, estratégica e com fundamentação teórica e metodológica consistente. O propósito de tais tarefas de planejamento é proporcionar acesso a referências que fundamentem as decisões do professor para contribuir com a melhoria de sua prática profissional.

Concebe-se, assim, os professores não como técnicos reprodutores de planos de instrução alheios às suas preferências e visões de mundo, às características dos conteúdos a se ensinar e aos condicionantes de seus contextos de atuação, mas como profissionais criativos e autônomos em relação a sua prática pedagógica.

Esta proposta de UDM que chega a suas mãos é resultado de um amplo e profundo processo investigativo e crítico acerca tanto dos conteúdos químicos quanto de sua abordagem pedagógica no contexto da Educação Básica. Ela não foi concebida como um roteiro fixo e fechado a ser seguido de forma mecânica e acrítica, mas como uma rica fonte de inspiração e de referências a serem considerados, criticados e adaptados aos contextos e demandas de seu trabalho. Esperamos que ela possa auxiliar na reflexão sobre um ensino de química menos mnemônico, enciclopédico e fragmentado.

Prof. Dr. Amadeu Moura Bego

O PERCURSO FORMATIVO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UNIDADES DIDÁTICAS MULTIESTRATÉGICAS (UDM)

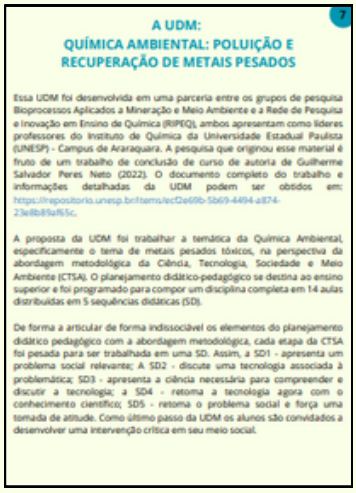
Nas palavras de Bego, Ferrarini e Morales (2021) a UDM pode ser entendida como um:

> [...] modelo de planejamento que abranga, de modo organizado e sequenciado, de um conjunto de estratégias didáticas e de avaliação de acordo com objetivos de aprendizagem previamente definidos e delimitados a partir da abordagem metodológica.

Para representar o trabalho com o modelo utiliza-se, propositalmente, o termo implementação que, nesse contexto, representa uma sequência de 3 grandes etapas, a se citar: o planejamento da UDM, a intervenção didático-pedagógica (operacionalização em sala de aula, coleta de dados e reflexão em nível individual e coletivo) e o replanejamento fundamentado nos resultados refletidos da prática. A proposta as 3 etapas da UDM se constituem em um rico processo formativo e crítico. Toda esse ciclo implementativo está representado na figura 1.

Figura 1. Processo formativo de implementação da UDM.
Fonte: Morales (2021, p. 192).

A UDM proposta

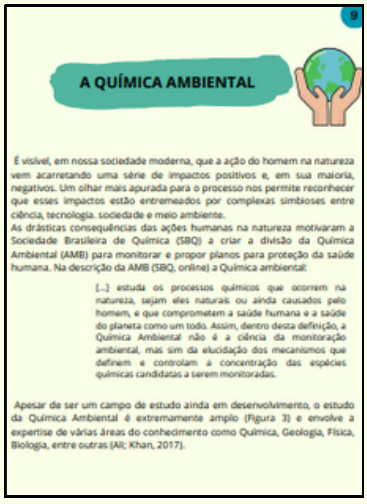


A UDM:
QUÍMICA AMBIENTAL: POLUIÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS

Essa UDM foi desenvolvida em uma parceria entre os grupos de pesquisa Bioprocessos Aplicados a Mineração e Meio Ambiente e a Rede de Pesquisa e Inovação em Ensino de Química (RIPEQ), ambos apresentam como líderes professores do Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Campus de Araraquara. A pesquisa que originou esse material é fruto de um trabalho de conclusão de curso de autoria de Guilherme Salvador Peres Nieto (2022). O documento completo do trabalho e informações detalhadas da UDM podem ser obtidos em: https://repositorio.unesp.br/items/ecf2e69b-5b69-4494-a874-23e8b89af65c.

A proposta da UDM foi trabalhar a temática da Química Ambiental, especificamente o tema de metais pesados tóxicos, na perspectiva da abordagem metodológica da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (CTSA). O planejamento didático-pedagógico se destina ao ensino superior e foi programado para compor um disciplina completa em 14 aulas distribuídas em 5 sequências didáticas (SD).

De forma a articular de forma indissociável os elementos do planejamento didático pedagógico com a abordagem metodológica, cada etapa da CTSA foi pesada para ser trabalhada em uma SD. Assim, a SD1 - apresenta um problema social relevante; A SD2 - discute uma tecnologia associada à problemática; SD3 - apresenta a ciência necessária para compreender e discutir a tecnologia; a SD4 - retoma a tecnologia agora com o conhecimento científico; SD5 - retoma o problema social e força uma tomada de atitude. Como último passo da UDM os alunos são convidados a desenvolver uma intervenção crítica em seu meio social.

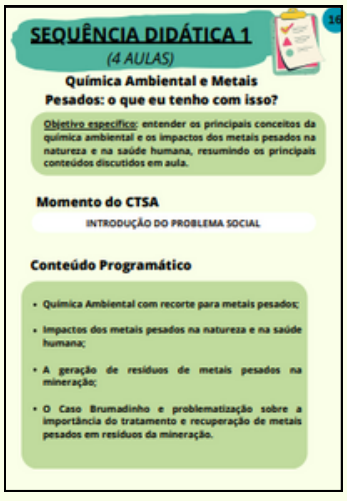


A QUÍMICA AMBIENTAL

É visível, em nossa sociedade moderna, que a ação do homem na natureza vem acarretando uma série de impactos positivos e, em sua maioria, negativos. Um olhar mais apurada para o processo nos permite reconhecer que esses impactos estão entremeados por complexas simbioses entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.
As drásticas consequências das ações humanas na natureza motivaram a Sociedade Brasileira de Química (SBQ) a criar a divisão da Química Ambiental (AMB) para monitorar e propor planos para proteção da saúde humana. Na descrição da AMB (SBQ, online) a Química ambiental:

> [...] estuda os processos químicos que ocorrem na natureza, sejam eles naturais ou ainda causados pelo homem, e que comprometam a saúde humana e a saúde do planeta como um todo. Assim, dentro desta definição, a Química Ambiental não é a ciência da monitoração ambiental, mas sim da elucidação dos mecanismos que definem e controlam a concentração das espécies químicas candidatas a serem monitoradas.

Apesar de ser um campo de estudo ainda em desenvolvimento, o estudo da Química Ambiental é extremamente amplo (Figura 3) e envolve a expertise de várias áreas do conhecimento como Química, Geologia, Física, Biologia, entre outras (Ali; Khan, 2017).



SEQUÊNCIA DIDÁTICA 1
(4 AULAS)

Química Ambiental e Metais Pesados: o que eu tenho com isso?

Objetivo específico: entender os principais conceitos da química ambiental e os impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana, resumindo os principais conteúdos discutidos em aula.

Momento do CTSA

INTRODUÇÃO DO PROBLEMA SOCIAL

Conteúdo Programático

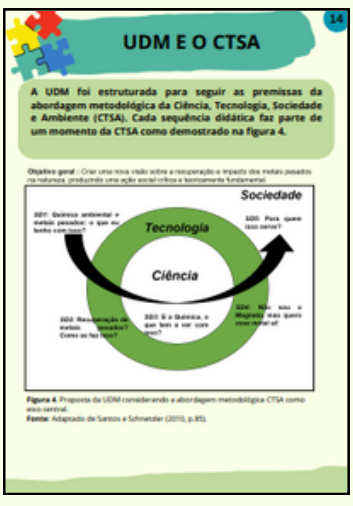
- Química Ambiental com recorte para metais pesados;
- Impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana;
- A geração de resíduos de metais pesados na mineração;
- O Caso Brumadinho e problematização sobre a importância do tratamento e recuperação de metais pesados em resíduos da mineração.

ORGANIZAÇÃO DA UDM

Objetivo geral da UDM: Criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamentada.

Quadro 1. Estrutura geral da UDM: sequência didática, conteúdo programático e quantidade de aulas

SEQUÊNCIA DIDÁTICA	CONTEÚDO PROGRAMÁTICO	QUANTIDADE DE AULAS
QUÍMICA AMBIENTAL E METAIS PESADOS: O QUE EU TENHO COM ISSO?	QUÍMICA AMBIENTAL, COM UM RECORTE PARA METAIS PESADOS; IMPACTO DOS METAIS PESADOS NA NATUREZA E NA SAÚDE HUMANA; GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE METAIS PESADOS NA MINERAÇÃO; O CASO BRUMADINHO; APRESENTAÇÃO DOS ALUNOS; PROBLEMATIZAÇÃO.	4
RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS? COMO SE FAZ ISSO?	NEUTRALIZAÇÃO COM BASE E REDUÇÃO BIOLÓGICA DE SULFATO; REATORES SULFETOGÊNICOS.	2
E A QUÍMICA, O QUE TEM A VER COM ISSO?	CONCENTRAÇÃO DE SOLUÇÕES E SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS INORGÂNICOS; PRECIPITAÇÃO, NUCLEAÇÃO E AGLOMERAÇÃO.	4
NÃO SOU O MAGNETO, MAS QUERO ESSE METAL AÍ!	RETOMADA DA TECNOLOGIA ARTICULADA COM OS CONCEITOS QUÍMICOS ESTUDADOS E RETOMADOS.	2
PARA QUEM SERVE ISSO?	APRESENTAR UMA PROPOSTA PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA INICIAL; DESENVOLVER UMA AÇÃO SOCIAL CRÍTICA.	2

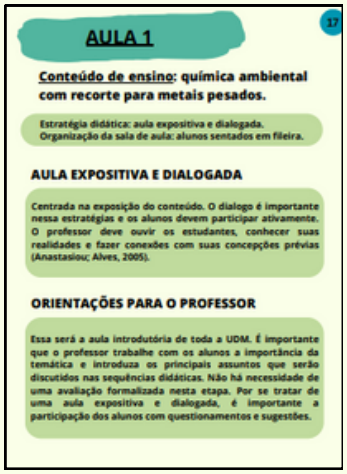


UDM E O CTSA

A UDM foi estruturada para seguir as premissas da abordagem metodológica da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Cada sequência didática faz parte de um momento da CTSA como demostrado na figura 4.

Objetivo geral: Criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamentada.

Figura 4. Proposta da UDM considerando a abordagem metodológica CTSA como eixo central.
Fonte: Adaptado de Santos e Schnetzler (2010, p.85).



AULA 1

Conteúdo de ensino: química ambiental com recorte para metais pesados.

Estratégia didática: aula expositiva e dialogada.
Organização da sala de aula: alunos sentados em fileira.

AULA EXPOSITIVA E DIALOGADA

Centrada na exposição do conteúdo. O diálogo é importante nessa estratégias e os alunos devem participar ativamente. O professor deve ouvir os estudantes, conhecer suas realidades e fazer conexões com suas concepções prévias (Anastasiou; Alves, 2005).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Essa será a aula introdutória de toda a UDM. É importante que o professor trabalhe com os alunos a importância da temática e introduza os principais assuntos que serão discutidos nas sequências didáticas. Não há necessidade de uma avaliação formalizada nesta etapa. Por se tratar de uma aula expositiva e dialogada, é importante a participação dos alunos com questionamentos e sugestões.

SUMÁRIO

1. **Prefácio.....3**
2. **O percurso formativo de implementação de Unidades Didáticas Multiestratégicas.....4**
3. **A UDM: Química ambiental: Poluição e recuperação e metais pesados 7**
4. **A Química Ambiental.....9**
5. **Obstáculos epistemológicos e concepções alternativas.....11**
6. **Organização da UDM.....13**
7. **A UDM e o CTSA.....14**
8. **Sequência didática 1.....16**
9. **Sequência didática 2.....25**
10. **Sequência didática 3.....31**
11. **Sequência didática 4.....40**
12. **Sequência didática 5.....44**

O PERCURSO FORMATIVO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UNIDADES DIDÁTICAS MULTIESTRATÉGICAS (UDM)

Nas palavras de Bego, Ferrarini e Moralles (2021) a UDM pode ser entendida como um:

> [...] modelo de planejamento que abrange, de modo organizado e sequenciado, de um conjunto de estratégias didáticas e de avaliação de acordo com objetivos de aprendizagem previamente definidos e delimitados a partir da abordagem metodológica.

Para representar o trabalho com o modelo utiliza-se, propositalmente, o termo implementação que, nesse contexto, representa uma sequência de 3 grandes etapas, a se citar: o planejamento da UDM, a intervenção didático-pedagógica (operacionalização em sala de aula, coleta de dados e reflexão em nível individual e coletivo) e o replanejamento fundamentado nos resultados refletidos da prática. A proposta as 3 etapas da UDM se constituem em um rico processo formativo e crítico. Toda esse ciclo implementativo está representado na figura 1.

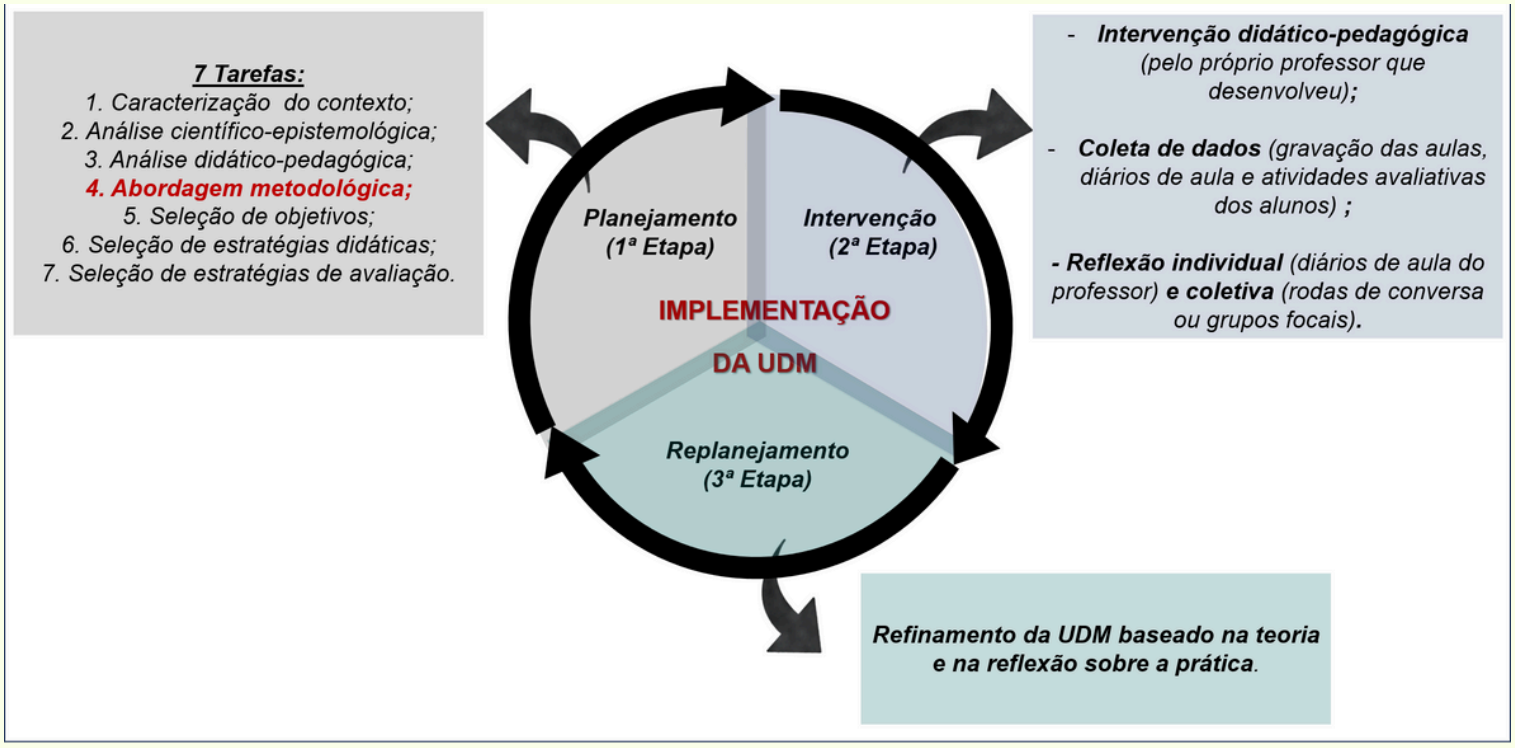


Figura 1. Processo formativo de implementação da UDM.
Fonte: Moralles (2021, p. 192).

Conforme apresentado na figura 1 o planejamento, que é o foco desse produto educacional, é compostos de 7 grandes tarefas: 1) a análise de contexto; 2) análise científico-epistemológica; 3) análise didático-pedagógica; 4) abordagem metodológica; 5) seleção dos objetivos de aprendizagem; 6) seleção das estratégias didáticas; 7) seleção das estratégias de avalição (figura 2).

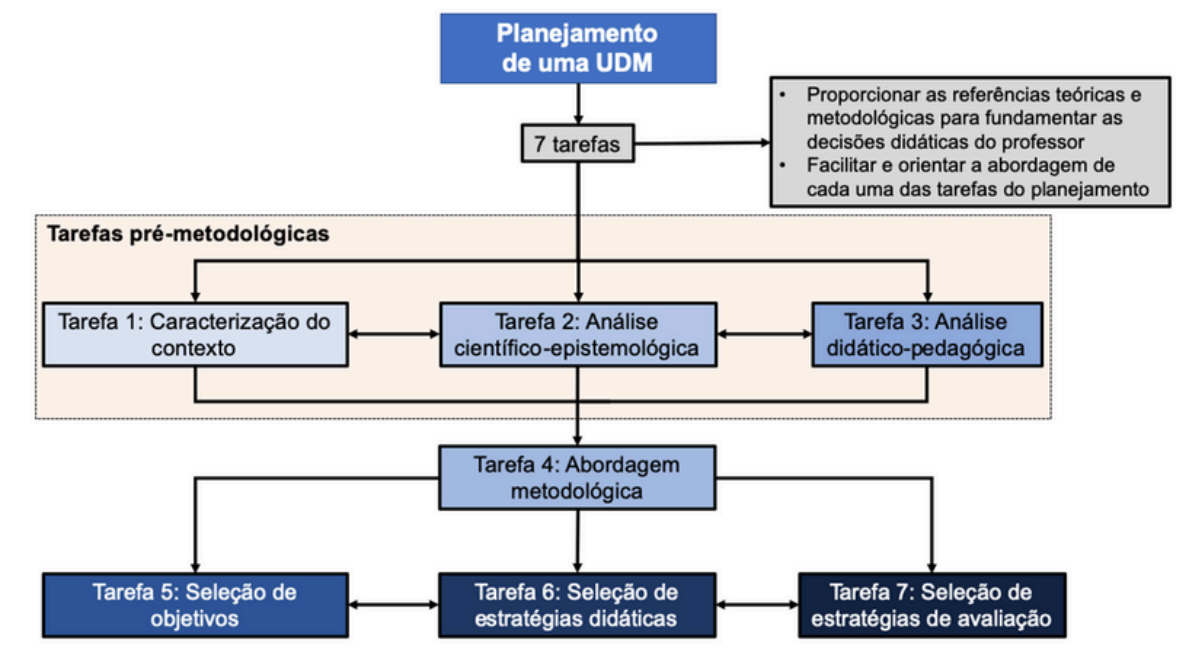


Figura 2. O planejamento da UDM.
Fonte: Bego, Ferrarini e Moralles (2021, p. 17).

Como pode ser visto tanto na figura 1, como na figura 2, a abordagem metodológica é considerada fundamental e o elemento do planejamento mais importante para UDM. Assim, uma característica fundamental da UDM é ter a abordagem metodológica como um eixo articulador dos demais elementos do planejamento, sendo essa uma escolha autônoma do professor (Bego; Ferrarini; Moralles, 2021).

Outros ponto que fundamentam a UDM é a utilização de modo integrado de uma vasta gama de estratégias didática e a formatação do planejamento balizada por outros níveis de ensino como o escolar e educacional, por exemplo (Bego; Ferrarini; Moralles, 2021).

Para que efetivamente a implementação da UDM seja um processo formativo é necessário retirar a visão burocrática do planejamento didático-pedagógico e entendê-lo com um papel dinâmico, provisório, crítico, reflexivo e contextual.

A proposta de desenvolver esse produto educacional com a etapa do planejamento da UDM não é substituir a autonomia docente, nem mesmo desconsiderar todos os saberes profissionais. A premissa é ter um primeiro desenho de planejamento que poupe tempo do atribulado trabalho de dia a dia de sala de aula. Dessa forma, não se recomenda que o professor apenas aplique esse planejamento proposto, mas sim que reflita sobre ele e desenvolva todas as modificações necessárias que essa UDM se adapte ao seu contexto específico de trabalho, não apenas pensando em condições de estrutura e materiais disponíveis, mas também nas especificidades dos seus alunos e no contexto sócio-político em que seu sistema de ensino está inserido.

REFERÊNCIAS

BEGO, A. M.; FERRARINI, F. O. C.; MORALLES, V. A. Ressignificação do estágio curricular supervisionado por meio da implementação de Unidades Didáticas Multiestratégicas. **Educação Química em punto de vista**, v.5, n. 1, p. 5 - 28, 2021.

MORALLES, V. A. **Vamos modelar, professor Héllio?** Desenvolvimento do conhecimento prático-profissional por meio da implementação de uma Unidade Didática Multiestratégica. Orientador: Amadeu Moura Bego. 543f. 2021. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química. Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2021.

A UDM:
QUÍMICA AMBIENTAL: POLUIÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS

Essa UDM foi desenvolvida em uma parceria entre os grupos de pesquisa Bioprocessos Aplicados a Mineração e Meio Ambiente (BAMMA) e a Rede de Pesquisa e Inovação em Ensino de Química (RIPEQ), ambos apresentam como líderes professores do Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Campus de Araraquara. A pesquisa que originou esse material é fruto de um trabalho de conclusão de curso de autoria de Guilherme Salvador Peres Neto (2022). O documento completo do trabalho e informações detalhadas da UDM podem ser obtidos em: https://repositorio.unesp.br/items/ecf2e69b-5b69-4494-a874-23e8b89af65c.

A proposta da UDM foi trabalhar a temática da Química Ambiental, especificamente o tema de metais pesados tóxicos, na perspectiva da abordagem metodológica da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (CTSA). O planejamento didático-pedagógico se destina ao ensino superior e foi programado para compor um disciplina completa em 14 aulas distribuídas em 5 sequências didáticas (SD).

De forma a articular de forma indissociável os elementos do planejamento didático pedagógico com a abordagem metodológica, cada etapa da CTSA foi pesada para ser trabalhada em uma SD. Assim, a SD1 - apresenta um problema social relevante; A SD2 - discute uma tecnologia associada à problemática; SD3 - apresenta a ciência necessária para compreender e discutir a tecnologia; a SD4 - retoma a tecnologia agora com o conhecimento científico; SD5 - retoma o problema social e força uma tomada de atitude. Como último passo da UDM os alunos são convidados a desenvolver uma intervenção crítica em seu meio social.

O movimento de construção da UDM passou pelas 7 tarefas do planejamento didático-pedagógico e foi acompanhada por especialistas tanto da área do conhecimento específico como a área de Ensino de Química. A equipe que desenvolve o projeto foi composta por professores universitários e um alunos de graduação em fase de desenvolvimento de um trabalho de conclusão do curso de licenciatura em Química.

Para que todas essas ações fossem efetivas se lançou mão das estratégias didáticas dos casos investigativos, aulas expositivas e dialogadas, trabalhos em grupo, experimentação e tecnologias digitais a informação e comunicação (TDIC).

A premissa central é que ao final de todos o processos os alunos consigam: "criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamentada”.

REFERÊNCIA

PERES NETO, G. S. **Uma proposta de unidade didática multiestratégica para ensinar sobre poluição e recuperação de metais pesados no ensino de química ambiental na perspectiva da ciência-tecnologia-sociedade-ambiente**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Química) - Instituto de Química. Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2022.

A QUÍMICA AMBIENTAL

É visível, em nossa sociedade moderna, que a ação do homem na natureza vem acarretando uma série de impactos positivos e, em sua maioria, negativos. Um olhar mais apurada para o processo nos permite reconhecer que esses impactos estão entremeados por complexas simbioses entre ciência, tecnologia. sociedade e meio ambiente.

As drásticas consequências das ações humanas na natureza motivaram a Sociedade Brasileira de Química (SBQ) a criar a divisão da Química Ambiental (AMB) para monitorar e propor planos para proteção da saúde humana. Na descrição da AMB (SBQ, online) a Química ambiental:

> [...] estuda os processos químicos que ocorrem na natureza, sejam eles naturais ou ainda causados pelo homem, e que comprometem a saúde humana e a saúde do planeta como um todo. Assim, dentro desta definição, a Química Ambiental não é a ciência da monitoração ambiental, mas sim da elucidação dos mecanismos que definem e controlam a concentração das espécies químicas candidatas a serem monitoradas.

Apesar de ser um campo de estudo ainda em desenvolvimento, o estudo da Química Ambiental é extremamente amplo (Figura 3) e envolve a expertise de várias áreas do conhecimento como Química, Geologia, Física, Biologia, entre outras (Ali; Khan, 2017).

Figura 3. Temáticas de interesse da Química Ambiental.
Fonte: adaptado de Ali e Khan (2017, p. 331, tradução livre).

Dentro dessa gama de assuntos prioritários pesquisados dentro da Química Ambiental, esse produto educacional se propôs a trabalhar, com alunos do ensino superior, a temática dos metais pesados tóxicos.

REFERÊNCIAS

Sociedade Brasileira de Química. **Química Ambiental**. São Paulo: SBQ. Disponível em: http://www.sbq.org.br/ambiental/pagina/sobre-divisaode-quimica-ambiental. Acesso em: 07 maio. 2022.

ALI, H.; KHAN, E. Environmental chemistry in the twenty-first century. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, n. 2, p. 329 – 346, 2017.

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Ao tomar conhecimento sobre as principais concepções alternativas e obstáculos epistemológicos sobre uma determinada temática, o professor tem condições de desenvolver um planejamento que busque trabalhar ou evitar esses entraves ao processo de ensino e aprendizagem. Nos quadros a seguir apresenta-se alguns obstáculos epistemológicos e concepções alternativas sobre a temática central.

PRINCIPAIS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS:

- **Obstáculo da experiência primeira:** para os alunos os metais são sempre materiais duros e sólidos, que não quebram ou enferrujam (Soares; Silveira, 2007).

- **Obstáculo verbal:** os alunos concebem a ideia de "mar de elétrons" visualizando os elétrons flutuando ou nadando entre os cátions do metal (Carvalho; Justi, 2005).

PRINCIPAIS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS:

- Os conceitos de solubilidade e dissolução são utilizados sem considerar as interações intermoleculares (Azzolin *et al*., 2013).

- Não é considerada a importância da temperatura para a solubilidade, são apresentados argumentos pautados, principalmente, em observações cotidianas e no aspecto fenomenológico (Azzolin *et al*., 2013).

- A concentração é associada apenas ao aspecto macroscópico, relacionando cores com a concentração (Oliva, 2019).

- Os metais são entendidos como elementos da tabela periódica que são bons condutores de energia; conduzem calor, eletricidade e são sensíveis a presença de água (Soares; Silveira, 2007).

- Os alunos acreditam que os metais apresentam-se puros na natureza, não considerando a necessidade de técnicas e métodos para separação e purificação (Sares; Silveira, 2007).

ORGANIZAÇÃO DA UDM

Objetivo geral da UDM: Criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamentada.

Quadro 1. Estrutura geral da UDM: sequência didática, conteúdo programático e quantidade de aulas.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA	*CONTEÚDO PROGRAMÁTICO*	*QUANTIDADE DE AULAS*
QUÍMICA AMBIENTAL E METAIS PESADOS: O QUE EU TENHO COM ISSO?	QUÍMICA AMBIENTAL, COM UM RECORTE PARA METAIS PESADOS; IMPACTO DOS METAIS PESADOS NA NATUREZA E NA SAÚDE HUMANA; GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE METAIS PESADOS NA MINERAÇÃO; O CASO BRUMADINHO; APRESENTAÇÃO DOS ALUNOS; PROBLEMATIZAÇÃO.	4
RECUPERAÇÃO DE METAIS PESADOS? COMO SE FAZ ISSO?	NEUTRALIZAÇÃO COM BASE E REDUÇÃO BIOLÓGICA DE SULFATO; REATORES SULFETOGÊNICOS.	2
E A QUÍMICA, O QUE TEM A VER COM ISSO?	CONCENTRAÇÃO DE SOLUÇÕES E SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS INORGÂNICOS; PRECIPITAÇÃO, NUCLEAÇÃO E AGLOMERAÇÃO.	4
NÃO SOU O MAGNETO, MAS QUERO ESSE METAL AI!	RETOMADA DA TECNOLOGIA ARTICULADA COM OS CONCEITOS QUÍMICOS ESTUDADOS E RETOMADOS.	2
PARA QUEM SERVE ISSO?	APRESENTAR UMA PROPOSTA PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA INICIAL; DESENVOLVER UMA AÇÃO SOCIAL CRÍTICA.	2

Fonte: próprios autores.

UDM E O CTSA

A UDM foi estruturada para seguir as premissas da abordagem metodológica da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Cada sequência didática faz parte de um momento da CTSA como demostrado na figura 4.

Objetivo geral : Criar uma nova visão sobre a recuperação e impacto dos metais pesados na natureza, produzindo uma ação social crítica e teoricamente fundamental.

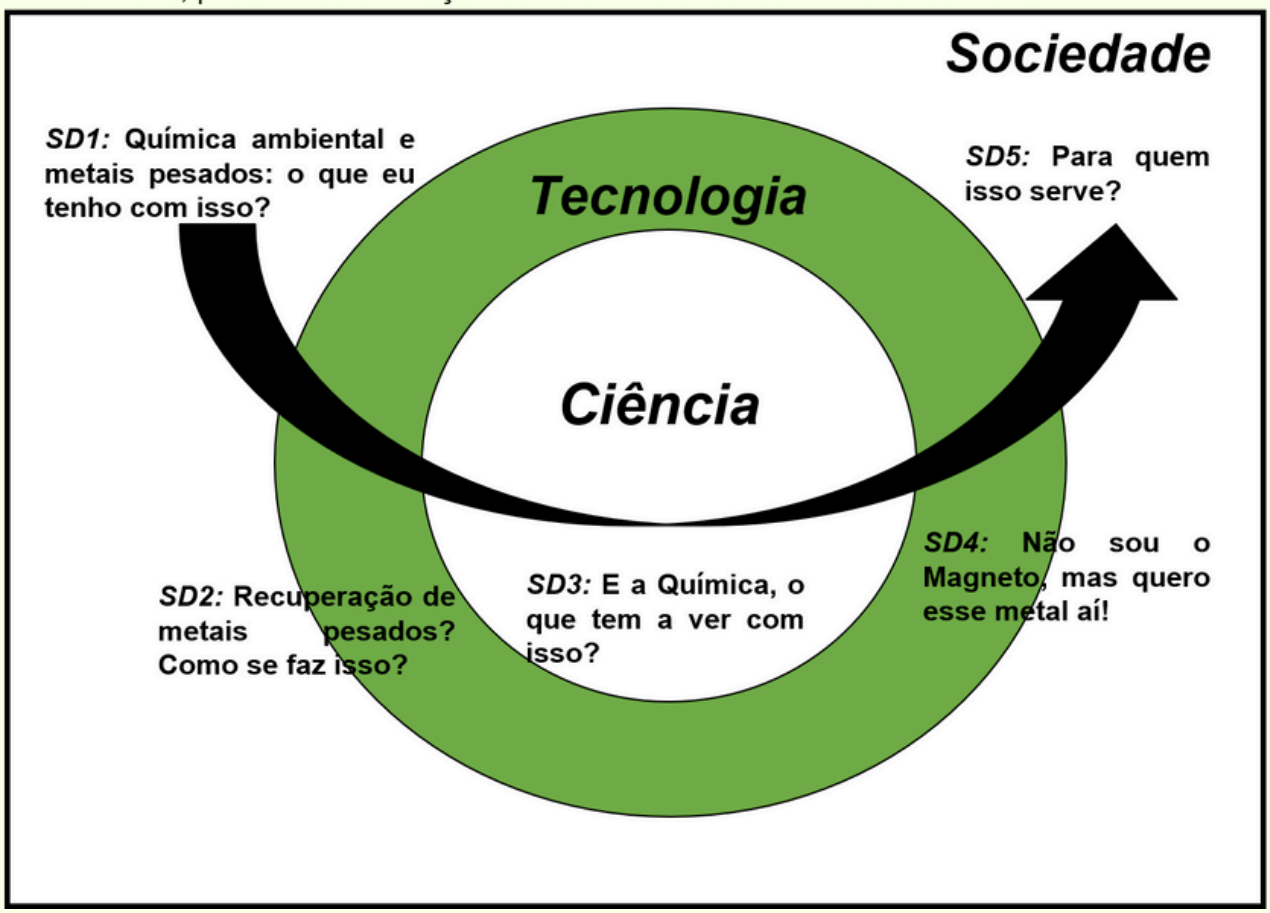


Figura 4. Proposta da UDM considerando a abordagem metodológica CTSA como eixo central.
Fonte: Adaptado de Santos e Schnetzler (2010, p.85).

ABORDAGEM METODOLÓGICA CTSA COMO EIXO CENTRAL DA UDM

O ensino CTSA visa promover a educação científica do aluno por meio do ensino das Ciências no seu contexto verdadeiro e historicamente situado (Holfstein *et al*., 1988). É importante que o alunos entrem em contato com aspectos da filosofia e da história das Ciências, para que possa compreender a natureza, limitações e potencialidades do conhecimento científico (Santos; Schnetzler, 2010). Além disso, deve-se fazer uma articulação entre a Ciência (meio natural), tecnologia (meio artificial), sociedade (meio social) e, de forma mais contemporânea, o meio ambiente.

O ensino CTSA deve favorecer a formação de cidadãos críticos, que participem ativamente da sociedade, utilizando seus conhecimentos científicos para melhorar o bem estar social (Roby, 1981). Além disso, a capacidade de tomada de decisão é tida como fundamental nessa abordagem (Santos; Schnetzler, 2010).

As estratégias didáticas que podem ser utilizadas no ensino CTSA são diversas, entre elas: jogos, casos investigativos, visitas a industrias, entrevistas, entre outras. O caminho a ser seguido pode ser variado nessa metodologia. A UDM apresentada, como sugerido por Santos e Schnetzler (2010), foi desenvolvida seguindo os passos: *I)* introdução de uma questão social; *II)* analise de uma tecnologia relacionada ao tema social; *III)* discussão do conteúdo científico, definido em função do problema social e da tecnologia; *IV)* utilização do conteúdo científico para compreender a tecnologia; *V)* retomada da questão social, abordada no início do processo, e proposta de uma resolução.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA 1

(4 AULAS)

Química Ambiental e Metais Pesados: o que eu tenho com isso?

Objetivo específico: entender os principais conceitos da química ambiental e os impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana, resumindo os principais conteúdos discutidos em aula.

Momento do CTSA

INTRODUÇÃO DO PROBLEMA SOCIAL

Conteúdo Programático

- **Química Ambiental com recorte para metais pesados;**
- **Impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana;**
- **A geração de resíduos de metais pesados na mineração;**
- **O Caso Brumadinho e problematização sobre a importância do tratamento e recuperação de metais pesados em resíduos da mineração.**

AULA 1

Conteúdo de ensino: química ambiental com recorte para metais pesados.

Estratégia didática: aula expositiva e dialogada.
Organização da sala de aula: alunos sentados em fileira.

AULA EXPOSITIVA E DIALOGADA

Centrada na exposição do conteúdo. O dialogo é importante nessa estratégias e os alunos devem participar ativamente. O professor deve ouvir os estudantes, conhecer suas realidades e fazer conexões com suas concepções prévias (Anastasiou; Alves, 2005).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Essa será a aula introdutória de toda a UDM. É importante que o professor trabalhe com os alunos a importância da temática e introduza os principais assuntos que serão discutidos nas sequências didáticas. Não há necessidade de uma avaliação formalizada nesta etapa. Por se tratar de uma aula expositiva e dialogada, é importante a participação dos alunos com questionamentos e sugestões.

AULA 2

Conteúdo de ensino: impactos dos metais pesados na natureza e na saúde humana.

Estratégia didática: grupo de verbalização e grupo de observação (GV/GO).
Organização da sala de aula: alunos divididos em dois grandes grupos circulares.

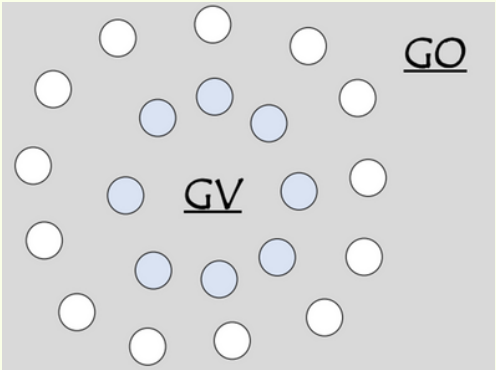
GV/GO

A estratégia foi pensada, principalmente, para introduzir temáticas e construir conhecimento com base na leitura. A dinâmica é interessante pois possibilita que os alunos aprendam uns com os outros .

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

A avaliação pode ser feita com base nas discussões dos grupos durante a dinâmica, o professor pode avaliar a coerência, domínio e a correta abordagem dos temas de cada texto. É importante que todos os alunos participem, para que todos possam contribuir e aprender.

ETAPAS DO GV/GO



1. Dividir os estudantes em dois grupos: um para verbalização de um tema/problema e outro para observação;
2. Organizá-los em dois círculos, um interno e outro externo (dividindo o número de membros conforme o número de estudantes da turma). Em classes muito numerosas o grupo de observação será numericamente maior que o de verbalização.
3. O GV (grupo interno) inicia verbalizando e discutindo o tema; enquanto isso, o GO observa e registra conforme a tarefa que lhe tenha sido atribuída. Em turmas muito numerosas, as tarefas podem ser diferenciadas para grupos destacados na observação.
4. Fechamento: O GV passa a oferecer sua contribuição, conforme a tarefa que lhe foi atribuída, ficando o GV na escuta.
5. Em turmas com menor número de estudantes, o grupo externo pode trocar de lugar e mudar de função - de observador a verbalizador.
6. O fechamento, papel fundamental do docente, deve contemplar os objetivos da atividade (Anastasiou; Alves, 2005).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

O professor deve iniciar apresentando os textos que serão lidos e a dinâmica do GV/GO, bem como formar os grandes grupos.

Os textos devem ser lidos e discutidos e cada grupo ficará responsável por um deles:

- **Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente (Muniz; Oliveira-Filho, 2006).**
- **Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores (Souza *et al.*, 2018).**

Os alunos devem explicar e ouvir os colegas, cada grupo ficará responsável por explicar um dos textos. O professor deve participar apenas como mediador, conduzindo a discussão e corrigindo possíveis erros ou dúvidas. A ideia é que com a leitura e a discussão os alunos compreendam os impactos dos metais pesados no meio ambiente e também na saúde humana.

AULA 3

Conteúdo de ensino: a geração de resíduos de metais pesados na mineração.

Estratégia didática: aula expositiva e dialogada.
Organização da sala de aula: alunos sentados em fileira.

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Novamente será utilizada a aula expositiva e dialogada para uma nova discussão sobre metais pesados e mineração. Aqui o professor deve apresentar as principais tecnologias e processos presentes na mineração. Deve-se também evidenciar a produção de resíduos em larga escala no processo.

AULA 4

Conteúdo de ensino: o caso Brumadinho e a importância do tratamento e recuperação de metais pesados em resíduos de mineração.

Estratégia didática: tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC) e apresentação oral.
Organização da sala de aula: alunos sentados em fileiras.

TDIC

As tecnologias digitais da informação e comunicação são importantes ferramentas que podem auxiliar na interpretação e construção do conhecimento sobre fenômenos de difícil visualização (Luehmann; Frink, 2012). No caso, a TDIC foi utilizada para tornar mais visual os problemas que são causados pela mineração. Sugere-se a utilização de um documentário sobre o desastre de Brumadinho -MG.

APRESENTAÇÃO ORAL

Essa etapa é importante para que os alunos façam análises, críticas e levantem hipóteses. Demonstrando domínio dos temas e participando das discussões (Anastasiou; Alves, 2005). O professor deve participar fazendo pequenas sínteses das discussões após apresentação de cada grupo, fornecendo mais informações, se julgar necessário, e corrigindo.

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Essa aula será iniciada por meio de um documentário que relata o caso de Brumadinho - MG, evidenciando algumas consequências da mineração. Os alunos devem discutir sobre os principais temas abordados nas aulas da SD, fazendo uma síntese e argumentando sobre o assunto. É importante que o professor saliente as problemáticas causadas pela mineração e seus impactos.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

A avaliação pode ser feita com base na discussão dos alunos sobre os principais tópicos abordados na SD. Pode-se avaliar a coesão, coerência e uso correto dos conceitos apresentados.

REFERÊNCIAS

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. *In*: **Processos de ensinagem na universidade**: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 10. ed. Joenville: Editora Unlville, 2005.

BBC. **Brumadinho: o documentário da BBC**. Youtube, 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=YIN02W40UTE&lc=Ugy1D6kt6vzMwsLmOQ94AaABAg&ab_channel=BBCNewsBrasil. Acesso em: 24 de set. de 2022.

LUEHMANN, A.; FRINK, J. Web 2.0 technologies, new media literacies, and science education: Exploring the potential to transform. *In*: **Second international handbook of science education**. New York: Springer Netherlands, 2012.

MCCRORY. R. Science, technology, and teaching: The topic-specific challenges of TPCK inscience. *In*: **Handbook of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPCK) for Educators**. New York: Routledge, p. 193 - 203, 2008.

MUNIZ, D. H. F; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da saúde**, v. 4, n. 1, p. 83 - 100, 2006.

PERES NETO, G. S. **Uma proposta de unidade didática multiestratégica para ensinar sobre poluição e recuperação de metais pesados no ensino de química ambiental na perspectiva da ciência-tecnologia-sociedade-ambiente**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Química) - Instituto de Química. Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2022.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W.B. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95 - 106, 2018.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA 2

(2 AULAS)

Recuperação de metais pesados? Como se faz isso?

Objetivo específico: entender duas tecnologias para tratamento e recuperação de metais pesados, comparando as duas técnicas por meio de um texto dissertativo-argumentativo.

MOMENTO DO CTSA

ANÁLISE DE UMA TECNOLOGIA ASSOCIADA AO TEMA.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- Neutralização com base e redução biológica de sulfato;
- Reatores sulfetogênicos.

AULA 5

Conteúdo de ensino: neutralização com base e redução biológica de sulfato.

Estratégia didática: leitura de texto e *Brainstorm.*
Organização da sala de aula: alunos sentados em fileira.

BRAINSTORM

Uma estratégia didática utilizada para estimular a imaginação e formulação de hipóteses. O conceito de certo e errado não deve ser levado em conta, os alunos devem se sentir livres para apresentar suas ideias. O professor pode avaliar a criatividade, logicidade, concisão e aplicabilidade (Anastasiou; Alves, 2005).

DINÂMICA DO *BRAINSTORM*

1. Expressar em palavras ou frases curtas as ideias sugeridas por uma questão;
2. O professor deve evitar atitude crítica que levaria a emitir juízo e/ou excluir ideias;
3. Registrar e organizar as ideias;
4. Fazer a seleção delas conforme critérios seguintes ou a ser combinado (Anastasiou; Alves, 2015).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

O professor, após a leitura dos alunos, pode fazer uma síntese geral, evidenciando os principais elementos do texto e ajudando os alunos a entender os conceitos fundamentais. Após a leitura o professor inicia o *Brainstorm*.

ORIGEM E CONTROLE DO FENÔMENO DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

O texto - "Origem e controle do fenômeno drenagem ácida de mina" (Melo; Duarte; Ladeira, 2014) - salienta os principais conceitos sobre as drenagens ácidas de minas, a origem desse resíduo, estratégias de controle e as diferentes formas de tratamentos empregadas.

ORIGEM E CONTROLE DO FENÔMENO DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Figura 5. Geração de água ácida e representação das rochas após escoamento das águas ácidas.
Fonte: Mello, Duarte e Ladeira (2014, p. 25).

Figura 6. Britas recoberta por óxido de ferro e tratamento passivo de drenagens ácidas.
Fonte: Mello, Duarte e Ladeira (2014, p. 27).

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

O próprio *Brainstorm* pode atuar como estratégia de avaliação. Os alunos devem explicar a escolha da palavra e como ela ajuda a entender o texto. O professor deve participar também da atividade reforçando os conceitos e ajudando com possíveis erros.

AULA 6

Conteúdo de ensino: reatores sulfetogênicos.

Estratégia didática: aula expositiva e dialogada.
Organização da sala de aula: alunos sentados em fileira.

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Essa aula foi pensada para introduzir uma nova temática. O professor deve preparar uma apresentação mais específica sobre os reatores biológicos utilizados para tratamento de resíduos de mineração. Em específico, reatores que utilizam bactérias redutoras de sulfato. Por se tratar de um tópico mais específico, o professor pode utilizar alguns artigos e livros da área, caso não esteja familiarizado com o tema.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

Para avaliação sugere-se a elaboração de um texto dissertativo-argumentativo onde os alunos devem explanar os principais conceitos abordados, comparar as tecnologias utilizadas e tentar indicar qual tecnologia é superior a outra.

REFERÊNCIAS

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. *In*: **Processos de ensinagem na universidade**: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 10. ed. Joenville: Editora Unlville, 2005.

MELLO, J. W. V; DUARTE, H. A.; LADEIRA,A. C. Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. **Cadernos Temáticos de Quimica nova na escola**, v. 8, p. 24 - 29, 2014.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA 3

(4 AULAS)

E a Química, o que tem a ver com isso?

Objetivo específico: aplicar os conceitos de concentração, solubilidade, precipitação, nucleação e aglomeração, implementando-os na explicação de práticas experimentais.

MOMENTO DO CTSA

ESTUDO DOS CONCEITOS CIENTÍFICOS.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- **Definição de metais pesados, suas principais propriedades físicas, usos, importância econômica e social;**
- **Concentração de soluções e solubilidade de compostos inorgânicos;**
- **Precipitação, nucleação e aglomeração.**

AULAS 7 E 8

Conteúdo de ensino: definição de metais pesados, suas principais propriedades físicas, usos, importância econômica e social.

Estratégia didática: *Jigsaw.*
Organização da sala de aula: alunos em grupos de acordo com a estratégia *jigsaw.*

JIGSAW

O *jigsaw* é usado como estratégia cooperativa, na qual os alunos participam discutindo e ensinando os colegas. O professor age apenas como mediador, formando os grupos, explicando a atividade e ajudando, caso necessário (Fatareli *et al.*, 2010).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Na dinâmica do *jigsaw* o número de alunos é um fator que deve ser levado em consideração. Caso não seja possível formar os grupos com o mesmo número de alunos, pode-se formar duplas para leitura do mesmo trecho do texto.

DINÂMICA DO *JIGSAW*

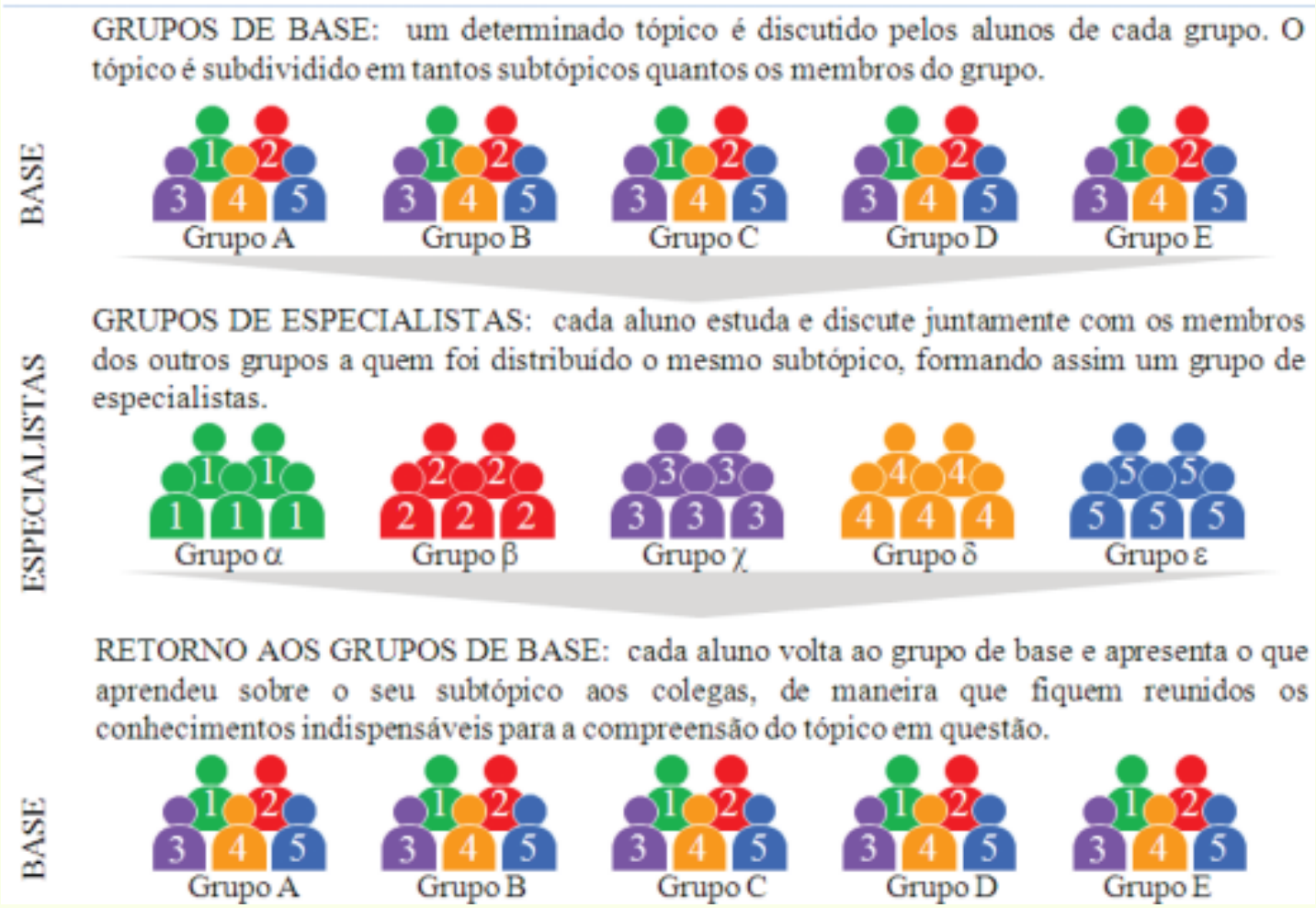


Figura 7. Sequência de passos a ser adotada no Jigsaw.
Fonte: Fatareli e colaboradores (2010, p. 162).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Dentro da temática abordada a divisão da leitura poderia ser a seguinte:
Aluno 1: propriedades dos metais pesados;
Aluno 2: usos dos metais pesados;
Aluno 3: importância econômica e social;
Aluno 4: impactos à saúde humana;
Aluno 5: impactos ao meio ambiente.

AULA 9

Conteúdo de ensino: concentração de soluções e solubilidade de compostos orgânicos.

Estratégia didática: experimentação e aula expositiva e dialogada.
Organização da sala de aula: alunos em grupos ao redor das bancadas do laboratório.

EXPERIMENTAÇÃO

A experimentação é bastante usada nos cursos de química. Essa estratégia vai auxiliar os alunos a compreenderem, de forma mais amplas, cada aspecto das tecnologias estudadas.
A ideia dessa experimentação é os alunos testarem diferentes substâncias em solventes polar e apolar e discutir quais são os fatores que afetam a essa propriedade. O professor pode utilizar os reagentes que tiver disponível.

AULA 10

Conteúdo de ensino: precipitação, nucleação e aglomeração.

Estratégia didática: experimentação.
Organização da sala de aula: alunos dispostos, em grupos, nas bancadas do laboratório.

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

A experimentação será usada para estudar alguns conceitos como solubilidade, concentração e precipitação. O professor pode focar nesses conceitos trabalhando os aspectos fenomenológico, teórico e representacional.
Esse momento foi desenhado para comportar duas atividades experimentais, uma de precipitação de sulfeto de zinco, para simular uma das tecnologias discutidas, e outra sobre os conceitos de cristais.

EXPERIMENTO: PRECIPITAÇÃO DO SULFETO DE ZINCO

Objetivo de aprendizagem: Compreender a precipitação que ocorre nos reatores sulfetogênicos como forma de recuperar metais;
Analisar a nucleação na formação do sulfeto de zinco.

Materiais e reagentes:

- Reatores sulfetogênicos (Figura 8);
- Seringa de 1,00 mL;
- Agulha para seringa;
- Béquer de 200mL;
- Proveta de 100mL;
- Cloreto de zinco.

Figura 8. Reator sulfetogênico.
Fonte: Elaboração própria.

Procedimento:

PARTE A: Obtenção da solução de cloreto de zinco 1%

- **Pesar 1,00g de cloreto de zinco no béquer de 200mL;**
- **Adicionar 100mL de água destilada.**

PARTE B: Precipitação do sulfeto de zinco

- **Com auxílio da seringa com agulha pegar 1,00mL da solução de cloreto de zinco 1%;**
- **Cuidadosamente perfurar a tampa de borracha do reator com a agulha (Figura 8);**
- **Aspergir o conteúdo da seringa vagarosamente no reator;**
- **Anotar o observado.**

ORIENTAÇÃO AO PROFESSOR

Visto que a obtenção de um reator sulfetogênico não é uma tarefa tão simples, uma vez que se trata de um reator biológico que demanda inoculação e crescimento dos microrganismos com meio de cultura e composição específicos. O professor pode fazer a substituição desses reatores por uma simples solução de hidróxido de sódio precipitando o hidróxido de zinco. Também é possível utilizar outras reações de precipitação.

Ex:
Nitrato de prata em solução de NaCl.
Cloreto ferro*(III)* e NaOH.

EXPERIMENTO: OBTENÇÃO DE CRISTAIS

A ideia dessa atividade experimental é discutir os fenômenos associados a formação de cristais. A identidade química do composto iônicos que será utilizado no processo de cristalização não são importantes para esse experimento.
Um procedimento experimental detalhado sobre a produção de cristais iônicos pode ser consultado no livro "Experiências de Química" (Giesbrecht *et al.*, 1982).

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

A avaliação sugerida é a elaboração de um relatório técnico-científico, no qual os alunos devem discutir a atividade experimental utilizando os níveis fenomenológico, teórico e representacional do conhecimento químico.

REFERÊNCIAS

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. *In*: **Processos de ensinagem na universidade**: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 10. ed. Joenville: Editora Unlville, 2005.

DUARTE, H. A. Ligações químicas: ligação iônica, covalente e metálica. **Cadernos temáticos de Química nova na escola**, v. 4, p. 14 - 23, 2001.

GIESBRECHT, E. *et al.* **Experiências de química:** técnicas e conceitos básicos. São Paulo: Ed. Moderna, 1982.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. **Química nova na escola**, v. 33, n. 4, p. 199 - 205, 2011.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA 4

(2 AULAS)

Não sou o Magneto, mas quero esse metal aí!

Objetivo específico: Entender as tecnologias associadas ao tratamento dos resíduos da mineração, explicando-as com o auxílio dos conhecimentos químicos.

MOMENTO DO CTSA

O CONTEÚDO CIENTÍFICO É USADA PARA ENTENDER A TECNOLOGIA

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- **Retomada da tecnologia articulada com os conceitos de química estudados;**
- **Apresentação da síntese dos alunos e discussão.**

AULA 11 E 12

Conteúdo de ensino: retomada da tecnologia articulada com os conceitos de química estudados.

Estratégia didática: trabalho em grupo.
Organização da sala de aula: alunos divididos em grupos

TRABALHO EM GRUPO

Os alunos pode ganhar autonomia, desenvolvem habilidades de exposição oral e liderança. Aprendem a trabalhar com diferentes opiniões, melhoram capacidade de síntese e resumo (Anastasiou; Alves, 2005).

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Nessa aula os alunos devem compreender mais sobre as tecnologias, entendendo a importância do conceito de solubilidade de compostos com metais, saber diferenciar nucleação e aglomeração de cristais e compreender a precipitação seletiva. Portanto, é importante que o professor use as discussões inicias dos grupos para trabalhar possíveis obstáculos ou dificuldades.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

A avaliação pode ser feita com base na apresentação oral dos alunos, pode-se avaliar o domínio dos alunos sobre o tema, a coerências dos grupos nas explicações sobre as tecnologias. É importante que os alunos deixem claro e tenham conhecimento suficiente para indicar uma tecnologia como a mais interessante para o processo de tratamento e recuperação de metais de Drenagens Ácidas de Minas.

REFERÊNCIAS

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P (Orgs.). Estratégias de ensinagem. *In:* **Processos de ensinagem na universidade**: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 10. ed. Joenville: Editora Unlville, 2005.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA 5

(2 AULAS)

Para quem isso serve?

Objetivo específico: criar uma proposta de intervenção social, produzindo um texto de divulgação científica que descreva uma possível alternativa para resolver o problema com resíduos de metais pesados.

MOMENTO DO CTSA

O PROBLEMA SOCIAL É NOVAMENTE RETOMADO.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- **Apresentar uma proposta de resolução para o problema inicial;**
- **Desenvolver uma ação social crítica.**

AULAS 13 E 14

Conteúdo de ensino: desenvolver uma ação social crítica.

Estratégia didática: trabalho em grupo, apresentação oral e TDIC.
Organização da sala de aula: alunos divididos em grupos.

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Os alunos, com base em todo conhecimento adquirido, devem elaborar um texto de divulgação científica voltado para a comunidade externa. O texto deve conter a problematização sobre a mineração e os metais pesados, os impactos dos metais na saúde humana e no meio ambiente e uma discussão sobre as tecnologias existentes para o tratamentos das drenagens ácidas de mina. O texto deve servir como um meio de divulgação científica para que ações possam ser tomadas visando investimentos, atenção de autoridades e auxílio para que esses impactos sejam minimizados.