Artigo

Aprendizagem Baseada em Projetos na Disciplina Tratamento de Resíduos e Meio Ambiente: Um Estudo de Caso

Bressiani, T. S. C.; Oliveira, M. L.; Rainha, K. P.; Santana, I. L.; Barros, J. R. P. M.; Lelis, M. F. F.;* Moura, P. R. G.

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (2), 356-367. Data de publicação na Web: 31 de Março de 2020

<http://rvq.sbq.org.br>

Project-Based Learning in the Discipline Waste Treatment and Environment: A Case Study

Abstract: The present work aims to evaluate the contributions of Project-Based Learning (BPL) in the context of Higher Education in Chemistry (UFES), in the discipline Solid Waste Treatment and Environment. This teaching methodology enables students to engage in collaborative work, encouraging the sharing of ideas, knowledge and skills for the elaboration of artifacts, enabling them to make decisions and solve problems. The educational proposal involved students in the research process aimed at transforming iron ore tailings into a product that can be used in other processes. The results show that the use of ABP teaching methodology in an Environmental Education (EE) perspective motivated the students to seek solutions based on the scientific knowledge acquired not only in the discipline, but throughout the course. Involving students with problems present in their daily lives drives them and brings incredible results, showing the potential they have, and contribute to their performance as future professionals.

Keywords: Higher education; learning motivation; iron ore tailings; project-based learning (PBL).

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar as contribuições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) no contexto do Ensino Superior em Química (UFES), na disciplina de Tratamento de Resíduos Sólidos e Meio Ambiente. Esta metodologia de ensino possibilita o engajamento dos estudantes no trabalho colaborativo, incentivando o compartilhamento de ideias, conhecimentos e habilidades para a elaboração de artefatos, capacitando-os para tomadas de decisões e resolução de problemas. A proposta educacional envolveu os alunos no processo de pesquisa visando transformar o rejeito de mineração de ferro em um produto que possa ser utilizado em outros processos. Os resultados obtidos mostram que a utilização da metodologia de ensino ABP na perspectiva da Educação Ambiental (EA) motivou os alunos a buscarem soluções tendo como base o conhecimento científico adquirido não só na disciplina, mas ao longo da graduação. Envolver os alunos com problemáticas presentes em seu cotidiano os impulsiona e traz bons resultados, mostrando o potencial que eles possuem, além de contribuir para a atuação dos discentes como futuros profissionais.

Palavras-chave: Ensino superior; motivação para aprendizagem; rejeito de mineração de ferro; Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP).

* Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas, Campus Goiabeiras, Av. Fernando Ferrari, 514, CEP 29075-910 Vitória-ES, Brasil.

mfflelis@yahoo.com.br
DOI: [10.21577/1984-6835.20200028](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200028)

Aprendizagem Baseada em Projetos na Disciplina Tratamento de Resíduos e Meio Ambiente: Um Estudo de Caso

Thaiany S. C. Bressiani, Mayara L. de Oliveira, Karla P. Rainha, Ívina L. Santana, Júlia R. P. M. Barros, Maria de Fátima F. Lelis,* Paulo R. G. Moura

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas, Campus Goiabeiras, Av. Fernando Ferrari, 514, CEP 29075-910 Vitória-ES, Brasil.

*mfflelis@yahoo.com.br

Recebido em 19 de Julho de 2019. Aceito para publicação em 5 de Março de 2020

1. Introdução

- 1.1. Classificação de resíduos sólidos
- 1.2. O rejeito de mineração de ferro

2. Metodologia

- 2.1. Classificação da lama
- 2.2. Difratometria de Raios X

3. Resultados e Discussões

- 3.1. Classificação do resíduo sólido
- 3.2. Difratometria de Raios X
- 3.3. Artefatos produzidos

4. Considerações Finais

1. Introdução

A reflexão sobre problemas ambientais tem a função de promover a formação de estudantes conscientes, criativos, atuantes e capazes de solucionar questões pertinentes à sociedade.^{1,2} Nesse sentido, a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) na perspectiva da Educação Ambiental (EA) apresenta-se como ferramenta para a construção de conhecimentos significativos ligados aos questões socioambientais e coloca o aluno como eixo central na elaboração dos projetos. A estratégia adota o princípio da aprendizagem colaborativa, fundamentada no trabalho criativo e ativo, em que os alunos, organizados em equipes, desenvolvem habilidades de planejamento e

gestão na busca da solução de problemas.³ Dessa forma, o aluno se apropria de conhecimento científico e consegue avaliar os avanços da ciência e tecnologia e suas implicações na comunidade e meio ambiente⁴, o que caracteriza a EA voltada para a construção de uma sociedade com justiça, cidadania e ética.^{4,5}

O planejamento e a execução da ABP envolvem os elementos da ação educativa característicos do método, que são: âncora, questão motriz, processos de investigação e inovação, trabalho em equipe colaborativo, artefatos, *feedback* e revisão. A âncora é a base da pergunta a ser levantada, fornece um cenário, uma questão ou um problema que dará sustentação aos processos de aprendizagem. A questão motriz é a tarefa ou meta que está intimamente relacionada à âncora e

tem por intuito despertar o interesse dos alunos na busca por soluções. Os processos de investigação e inovação envolvem as atividades de pesquisa e confronto dos conhecimentos prévios com as novas descobertas. Estes processos possibilitam o engajamento dos estudantes no trabalho colaborativo, incentivando o compartilhamento de ideias, conhecimentos e habilidades para a elaboração de artefatos. Durante o percurso, o formador educacional atua como um facilitador ao reavaliar o processo a partir de *feedbacks* e revisão e auxiliando na construção e desconstrução de conceitos.⁴ Assim, de forma autônoma e colaborativa, os estudantes se envolvem em atividades de pesquisa, levantamento de dados, construção de diálogos entre os pares e com o professor, planejamento e gestão.⁶

Compreendendo os pressupostos da ABP, sua aplicação no ensino superior visa integrar a formação teórica à prática, contribuindo para a formação profissional dos estudantes, diferente do que ainda se observa em algumas instituições de ensino que valorizam os modelos tradicionais, baseados na transmissão e recepção de informações. Este modelo dificulta o envolvimento do aluno no processo ensino-aprendizagem, o que pode gerar uma dificuldade no estudante em associar o conteúdo com problemas que estão a sua volta, refletindo no seu futuro desempenho profissional.⁷

Alguns autores trabalharam com a ABP no ensino superior.⁸⁻¹² Davis e colaboradores⁸ utilizaram a ABP na disciplina de análise quantitativa para graduandos em química, o que permitiu o contato dos discentes com técnicas experimentais e o desenvolvimento da habilidade de trabalhar em equipe. Diawati e colaboradores⁹ incentivaram os discentes a projetar, construir e testar um fotômetro a fim de determinar a concentração de soluções com o aparelho em uma disciplina de química analítica. Os alunos desenvolveram habilidades como criatividade, planejamento e gestão de projetos. Desse modo, utilizar a ABP como metodologia de ensino é uma estratégia que motiva os discentes com tarefas e desafios autênticos, desenvolvendo habilidades e competências e tornando a aprendizagem mais significativa.^{3,7}

Portanto, o presente artigo tem o objetivo de avaliar as contribuições da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) no contexto do Ensino Superior em Química, da Universidade Federal do

Espírito Santo (UFES), na disciplina de Tratamento de Resíduos Sólidos e Meio Ambiente. Para isso, utilizou-se como âncora um seminário onde foi exposta a problemática ambiental envolvendo a grande quantidade de rejeito de mineração associada ao rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG) a fim de classificar e reutilizar este material.

1.1. Classificação de resíduos sólidos

Os resíduos são definidos como sólidos oriundos de diversas atividades antropogênicas, além de lodos dos sistemas de tratamento de água e alguns líquidos com características que tornem impróprio seu descarte em esgoto ou corpos de água.⁷ Para o efetivo gerenciamento e disposição, os resíduos sólidos são classificados como perigosos (classe I) ou não perigosos (classe II), de acordo com a normativa ABNT NBR 10004 e normas associadas a esta.¹³⁻¹⁶ O termo rejeito é empregado ao resíduo sem valor agregado, caracterizado pela inviabilidade econômica dos processos para o tratamento e recuperação, como é o caso do descarte sólido da mineração de ferro.

1.2. O Rejeito de Mineração de Ferro

A mineração é um termo que compreende o processo de extração de substâncias a partir de depósitos ou massas minerais. A mineração é uma das mais importantes atividades econômicas do Brasil, alcançando a marca de, aproximadamente, 560 milhões de toneladas de minério de ferro extraído em 2016. O setor de mineração abastece diversos tipos de indústrias, principalmente, a metalurgia, siderurgia, petroquímica e de fertilizantes.¹⁷

A indústria de mineração impacta positivamente o mercado brasileiro, mas preocupa pelo alto potencial poluidor atrelado aos processos de extração, beneficiamento, produção, transporte do minério e destinação final dos rejeitos e resíduos em barragens de contenção ou cavas de mineração.¹⁸ Sabe-se também que as barragens de rejeito apresentam riscos significativos referentes à estabilidade e ruptura, interferência nas águas subterrâneas, restrições para uso futuro e falhas nos sistemas de cobertura e drenagem.¹⁷

Em decorrência dos últimos episódios envolvendo rompimentos de barragens de

mineração no Brasil, estes resíduos têm ganhado atenção especial dos órgãos ambientais e políticos, centros de pesquisas e universidades de todo o país. Em geral, desastres desta magnitude são imensuráveis e irreparáveis, pois acarretam impactos econômicos, sociais e ambientais referentes à integridade dos recursos naturais e do equilíbrio ecológico. No final de 2015, o rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG) impactou 39 municípios nos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, comprometendo a captação direta de água no rio Doce, o ecossistema e a integridade da vida humana.¹⁹ Este episódio intensificou as discussões a respeito da produção de resíduos dessa atividade, mobilizando pesquisas de cunho social, político, ambiental e tecnológico, atingindo também o ambiente educacional.²⁰

Diante de toda essa problemática, diversas pesquisas têm sido feitas a fim de criar alternativas para que esses resíduos tenham uma destinação diferente. A utilização destes materiais como coprodutos industriais tem se tornado uma opção viável na fabricação de adsorventes, catalisadores, membranas cerâmicas de baixo custo, tijolos e outros produtos úteis para o dia a dia e para o tratamento de outros problemas ambientais.²¹⁻²⁴

Dessa forma, a proposta educacional almejou envolver os discentes no processo de pesquisa visando transformar o rejeito de mineração de ferro em um produto que possa ser aproveitado em outros processos. Utilizar esta temática em sala de aula motiva os alunos a pensar e refletir sobre os problemas ambientais, promovendo um pensamento crítico e criativo, capacitando-os para tomadas de decisões e resolução de problemas.

2. Metodologia

A pesquisa qualitativa de caráter descritivo foi desenvolvida em uma turma com doze alunos do curso de Química, no Centro de Ciências Exatas - UFES, ao longo da disciplina Tratamento de Resíduos Sólidos e Meio Ambiente. Os dados foram obtidos a partir de questionários, registros fotográficos, gravação de áudios e registros escritos em um diário de bordo.

Considerando as etapas da ABP, a Tabela 1 descreve o planejamento desta intervenção pedagógica. Em um primeiro momento, foi realizado o levantamento do conhecimento prévio dos estudantes sobre resíduos sólidos e suas motivações para realizar a disciplina utilizando o questionário I (vide material suplementar). Fundamentos e conceitos teóricos sobre tratamento, descarte e reuso de resíduos sólidos foram apresentados pela docente em sala de aula. Em seguida, a turma foi dividida em quatro grupos escolhidos pelos próprios participantes, sendo designado para cada um deles estudar e apresentar um seminário sobre uma das normas relacionadas com a classificação dos resíduos sólidos.¹³⁻¹⁶ Após o contato com as normas de forma teórica, aplicou-se o questionário II (vide material suplementar) com o intuito de mapear o nível de compreensão acerca do que foi apresentado, uma vez que estas seriam replicadas pelos alunos experimentalmente.

As tarefas foram realizadas entre as equipes (trabalho colaborativo) com a supervisão das formadoras educacionais, que auxiliavam os alunos com *feedbacks* e revisão ao longo do

Tabela 1. Etapas da ABP

Planejamento ABP	
Fundamentos Teóricos	Aulas sobre os processos industriais e seus resíduos; Apresentação das normas pelos grupos;
Âncora	Seminário sobre a problemática ambiental envolvendo o rompimento da barragem de Fundão (MG).
Questão Motriz	Como transformar um resíduo sólido em um novo produto?
Processos de Investigação e Inovação	Pesquisa científica, levantamento de ideias e planejamento do projeto para reutilizar o resíduo.
Tarefas a serem cumpridas	Classificar a lama de acordo com as normas apresentadas; Identificar a composição da lama (DRX); Propor uma solução para a questão motriz.
Artefatos previstos	Apresentação dos produtos e resultados obtidos

processo. O desenvolvimento experimental foi realizado no Núcleo de Competência em Química do Petróleo (NCQP), na UFES. Foi utilizada uma amostra da lama proveniente do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), coletada na hidrelétrica Risoleta Neves (conhecida como usina de Candonga), onde parte desta lama ficou retida. Para classificar a lama, foi utilizada a norma ABNT NBR 10004 juntamente com outras normas relacionadas.¹³⁻¹⁶

Posteriormente, cada grupo deveria transformar a lama (rejeito de mineração) proveniente do desastre ambiental em um produto com valor agregado, sendo avaliada a capacidade investigativa e criativa dos alunos, com vistas ao aproveitamento dos conhecimentos verificados para fins didático-pedagógicos no ensino de química no contexto acadêmico. As etapas experimentais desenvolvidas referentes aos produtos tecnológicos não serão descritas no escopo deste artigo.

Vale ressaltar que esta disciplina não prevê atividades experimentais, ou seja, o currículo é essencialmente teórico envolvendo técnicas e normativas para o manuseio e destinação dos resíduos sólidos. No entanto, a partir da reflexão conjunta da professora responsável pela disciplina com a estagiária-docente, os procedimentos experimentais foram integrados ao escopo da disciplina para auxiliar o desenvolvimento de habilidades e competências inerentes à pesquisa científica previstas na proposta dessa intervenção pedagógica.

2.1. Classificação da lama

Primeiramente, realizou-se o quarteamento da amostra¹⁴ para posterior obtenção de extrato lixiviado¹⁵ e extrato solubilizado¹⁶. Vale ressaltar que a ABNT NBR 7181 - Análise Granulométrica - foi utilizada para seguir os padrões de destorroamento e peneiramento, utilizando peneiras com abertura de malha de 2 mm.²⁵

Na classificação do rejeito como perigoso (Classe I) ou não perigoso (Classe II), obteve-se o extrato lixiviado da amostra, sendo que a referente norma foi modificada e adaptada para aula experimental.¹⁵ Antes de iniciar a obtenção do extrato lixiviado, precisa-se determinar qual solução extratora deve ser utilizada, a nº 1 ou a nº 2.⁹ Para isso, transferiu-se 5 gramas

da amostra para um erlenmeyer de 250 mL, usando aproximadamente 100 mL de água deionizada e agitou-se por 5 minutos em um agitador rotatório de frascos em banho-maria. Após este procedimento, utilizou-se medidor de pH para verificar o pH da solução. Em todos os grupos, o pH medido foi menor que 5, sendo necessário utilizar a solução extratora número 1, preparada pelos alunos, descrita na norma ABNT NBR 10005.¹⁵ Considerando a lama como resíduo com teor de sólidos de 100 %, transferiu-se 5 gramas da amostra para um erlenmeyer de 250 mL, usando, aproximadamente, 100 mL da solução extratora nº 1. Fechou-se o aparato e foi mantido sob agitação em banho-maria durante 18 horas à temperatura de 25 °C. Após este período, mediu-se o pH e a amostra foi filtrada. Para análise de metais, de acordo com a norma citada, os filtros foram lavados com solução de HNO₃ 1,0 mol.L⁻¹. Recolheu-se o filtrado em um balão volumétrico de 100 mL para posterior análise de metais.

Para classificar o rejeito como não inerte (II A) ou inerte (II B), utilizou-se os requisitos da norma ABNT NBR 10006, a fim de obter o extrato solubilizado a partir da amostra.¹⁶ Foram adicionados em um erlenmeyer 25 gramas da amostra e 100 mL de água deionizada. Agitou-se por 5 minutos em banho-maria em um agitador rotatório de frascos. Fechou-se o recipiente e o mesmo foi mantido em repouso por sete dias à temperatura de 25 °C. Após este período, foi medido o pH da solução com posterior filtração. O filtrado foi recolhido em um balão volumétrico de 100 mL para análise de metais (também foi lavado com solução de HNO₃ 1,0 mol.L⁻¹). Cada grupo realizou as etapas de lixiviação e solubilização em duplicata e com o ensaio do branco; para estimar o erro associado.^{15,16}

2.2. Difratometria de Raios X

Para identificar a composição mineralógica da lama, foi realizada a difratometria de raios X (DRX) utilizando o difratômetro Shimadzu XRD 600, equipado com grafite e monocromador de feixe difratado com radiação de Cu-K α . Os dados foram coletados em um intervalo angular de varredura em 2 θ min⁻¹, de 15°-95°, com passo angular de 0,01° e tempo de contagem de 2 segundos.

3. Resultados e Discussões

Envolver os discentes com tarefas e desafios para a resolução de problemas autênticos do mundo real é uma forma de desenvolver habilidades e prepará-los para o mercado de trabalho. Além disso, esse tipo de abordagem propicia o trabalho em equipe e, ao buscarem em conjunto a solução para o problema, cada integrante usa o seu ponto forte para cumprir a meta do grupo. Portanto, quando há articulação de ideias, o trabalho se torna motivador, pois cada membro utiliza as suas habilidades e aprende com os outros integrantes da equipe.³

Ao utilizar a ABP como metodologia de ensino, alguns conhecimentos e fundamentos teóricos foram necessários para que os alunos desenvolvessem o projeto. Neste caso, explicar sobre a origem, o tratamento e as formas de disposição final de alguns resíduos industriais foi fundamental para que os alunos interagissem em sala de aula, mostrando interesse nas etapas futuras do projeto.

A âncora que sustentou os processos de ensino-aprendizagem foi um seminário que expôs a problemática ambiental envolvendo o rompimento da barragem de Fundão (MG), que suscitou discussões relacionadas à grande produção de rejeitos de mineração de ferro. Esta temática forneceu um cenário para aplicação da ABP e motivou a escolha da seguinte questão motriz: “Como transformar um resíduo sólido em um novo produto?”, estimulando os processos de investigação e inovação, a fim de incentivá-los a desenvolver novos produtos a partir do rejeito, com objetivo de trazer soluções para a problemática da grande produção de resíduos de mineração.

As informações para avaliar as contribuições desta metodologia foram obtidas a partir da análise de questionários e apresentação dos artefatos produzidos pelos alunos. Para preservar a identidade, os discentes foram identificados alfanumericamente (A1 até A12). As avaliações buscaram compreender como a utilização de metodologias diferenciadas pode impactar a construção do conhecimento e formação profissional.

A partir do questionário I foi constatado que todos os alunos já haviam se envolvido

com pesquisa de iniciação científica ao longo da graduação e dois deles também realizaram estágio. Este mapeamento inicial mostrou que todos os alunos tiveram contato anterior com laboratório, o que facilitou o entendimento de alguns procedimentos laboratoriais descritos na metodologia e possibilitou a realização de muitas etapas de forma autônoma e colaborativa.

Em se tratando do conhecimento prévio sobre resíduos, percebe-se que nenhum aluno utilizou o conceito definido pela norma, mas as respostas continham alguns termos que retratam um conhecimento correto do assunto. Dentre os termos mais citados tem-se: subproduto, produto secundário, produto não desejado.

Buscou-se também compreender o motivo da escolha desta disciplina para integralização dos créditos, visto que ela é optativa. De acordo com a análise do questionário I, 50 % dos alunos declarou motivação ambiental para realizar a disciplina, como pode ser observado em algumas respostas:

A2: “me interesse pelas coisas relacionadas ao meio ambiente, maneiras de tornar o mundo mais “limpo”, “verde” e ecologicamente correto.”

A6: “Gosto de tudo que envolve a área ambiental.”

Outro aluno trouxe destaque ao caráter interdisciplinar desta matéria, que segundo este, consegue conectar outras áreas da química, de forma a voltar-se para a preocupação ambiental. Portanto, os alunos percebem o enfoque que tem se dado para questões ambientais, o que tem motivado o envolvimento com essas temáticas ao longo da graduação. Eles entendem que as empresas estão buscando cada vez mais soluções alternativas para seus resíduos e por isso buscam se qualificar para o mercado profissional realizando disciplinas que conciliam estas abordagens. Isto foi constatado em respostas de alguns alunos que demonstraram interesse pela disciplina devido à potencialidade desta em contribuir para futuro profissional (A10 e A11) e na monografia (A8 e A12):

A10: “Ao fazer química ambiental, achei a área interessante e vi potencial de trabalhar em indústria com foco em química verde e tratamento de resíduos.”

A11: “Aprender como tratar resíduos e acrescentar isso ao currículo.”

A8: “Gosto da área de química ambiental e pretendo fazer TCC e pós-graduação nessa área.”

A12: “O estudo contínuo fora da grade obrigatória do curso sobre assuntos relacionados à minha área de pesquisa.”

Vale ressaltar a importância de se trabalhar a EA de forma contínua e permanente no Ensino Superior para que os discentes consigam ter uma visão direcionada às questões socioambientais.

Ao final das apresentações dos seminários, em que cada grupo ficou responsável em apresentar uma norma ABNT relacionada com a classificação dos resíduos sólidos, foi aplicado o questionário II para verificar o nível de compreensão dos conceitos normativos. Aproximadamente 55 % responderam que já tiveram um breve contato com as normas, mas o restante nunca teve contato. Após a apresentação dos seminários, observou-se uma compreensão melhor sobre a definição de resíduos sólidos e sua classificação. Além disso, ao analisar o questionário II, percebeu-se que esta etapa conseguiu elucidar informações consideradas importantes para a formação profissional, sendo considerado por alguns alunos um diferencial para a carreira (Tabela 2).

Diante das respostas aos questionários apresentados, fica evidente que os alunos buscam disciplinas que conciliem o conhecimento teórico com a prática e com situações do cotidiano, pois eles acreditam que desta forma estarão mais preparados para exercer a profissão. Portanto, reitera-se a importância de utilizar uma metodologia de ensino diferenciada como a ABP, que motiva os alunos com tarefas relacionadas ao mundo real e consegue desenvolver habilidades e competências exigidas pelas empresas no século XXI.^{3,7}

Dessa forma, pode-se considerar que os fundamentos teóricos contribuíram para a realização das próximas etapas experimentais, visto que os alunos obtiveram uma melhor compreensão das normas e entenderam a importância de estudá-las. Introduzir conceitos não deve se tornar um apoio permanente aos alunos, mas sim um auxílio para que o aluno avance para uma nova e mais aprofundada compreensão do conteúdo.³

3.1. Classificação do resíduo sólido

No laboratório os alunos tiveram a oportunidade de aplicar experimentalmente os conceitos aprendidos na teoria. As etapas de quarteamento, lixiviação e solubilização foram realizadas em conformidade com a norma, conforme citado na metodologia, sendo disponibilizadas algumas aulas para que os grupos realizassem os procedimentos, sendo o professor apenas um auxiliador do processo. Alguns grupos também se reuniram em outros horários para finalização dos experimentos, estando os formadores educacionais disponíveis para sanar dúvidas. Vale ressaltar que os alunos receberam um roteiro experimental com a norma modificada e adaptada para laboratório. Os discentes conseguiram realizar as etapas de forma satisfatória e, ao final deste processo, as amostras líquidas dos experimentos de solubilização e lixiviação foram encaminhadas para análise, pela técnica de ICP-OES.

Diante dos resultados obtidos, considerou-se as análises dos elementos Mn, Cu, Cd, Cr, Ni e

Tabela 2. Análise de perguntas do questionário II

Perguntas	Respostas de alguns alunos
Escreva quais as primeiras impressões que você teve ao ler/estudar a norma.	A1: “as impressões foram boas, uma vez que é um assunto muito importante para a profissão que escolhi.” A3: “A importância do tratamento correto visando o cuidado com a saúde pública e com o meio ambiente.”
As apresentações dos seminários te auxiliaram a compreender como funciona a classificação de resíduos nas indústrias? Justifique	A1: “Sim. Foi extremamente importante, pois caso eu vá algum dia trabalhar em indústria é “super” importante saber isso.” A4: “Sim, pois antes eu não sabia de que forma era estabelecido o tratamento necessário para cada tipo de amostra e a aparelhagem necessária e após ver os seminários pude ter uma compreensão melhor.”
Quais foram as contribuições que a apresentação deste seminário trouxe para a sua formação?	A10: “A apresentação desse seminário trouxe uma nova consciência para os assuntos ambientais e financeiros de, como químico, posso tratar um resíduo de forma economicamente viável.” A11: “Se num futuro próximo estiver numa indústria creio que terei como diferencial essas informações.”

Pb pela técnica de ICP-OES no líquido extrator do teste de Solubilização e Lixiviação (Tabela 3) de maior relevância para a discussão ambiental sobre aspectos ambientais e toxicológicos com os alunos. Os resultados obtidos na análise foram comparados com e os valores limite para o lançamento diretamente no corpo receptor, obedecendo às condições e padrões previstos em relação aos fatores socioambientais.¹³⁻¹⁶ Esta etapa colocou os alunos como eixo central na discussão, valorizando a capacidade de julgamento e de tomada de decisão em relação ao descarte inadequado de um rejeito no meio ambiente.

De acordo com relatos de alguns alunos, ir para o laboratório e aplicar experimentalmente os conceitos aprendidos na teoria foi fundamental para relacionar todas as normativas estudadas e compreendê-las em sua totalidade.

3.2. Difratometria de Raios X

A análise por difratometria de raios X (DRX) permitiu identificar alguns picos característicos de hematita (Fe_2O_3) e de sílica (SiO_2) como componentes predominantes na amostra, como mostra a Figura 1.²⁶

O resultado mostrou aos alunos que a lama de rejeito possui características e propriedades interessantes, visto que o processo de beneficiamento do minério de ferro gera um subproduto enriquecido com compostos que podem ser utilizados na fabricação de novos materiais, além de melhorar os índices de sustentabilidade ambiental pela redução do passivo da barragem de rejeitos.

3.3. Artefatos produzidos

A ABP vai além da construção de conceitos, pois possibilita o aprimoramento de atitudes e valores, conscientização de problemas a serem solucionados, desenvolvendo a autonomia e a responsabilidade por meio da participação ativa na elaboração de ações.

Os artefatos produzidos foram fruto dos processos de investigação e inovação, pois a partir das pesquisas realizadas, os alunos conseguiram compartilhar ideias e conhecimentos científicos, desenvolvendo habilidades que são inerentes ao processo de ensino-aprendizagem. Esses artefatos são os produtos gerados dentro da execução das atividades, que representam possíveis

Tabela 3. Análise dos elementos pela técnica de ICP-OES no líquido da Solubilização e Lixiviação

Amostra	Mn (ug/L)	Cu (ug/L)	Cd (ug/L)	Cr (ug/L)	Ni (ug/L)	Pb (ug/L)
Solubilização	102,7	31,1	2,5	23,1	16,2	14,3
Lixiviação	328,1	83,0	27,7	65,7	42,3	58,8
Limite	1000	1000	500	500	2000	500

Figura 1. DRX da amostra de lama estudada

soluções para a questão motriz.³ Portanto, após pesquisa em artigos científicos, os quatro grupos apresentaram formas de transformar o rejeito de mineração de ferro em novos produtos. Os resultados surpreenderam os formadores educacionais, pois os discentes se dedicaram muito ao propor soluções baseadas em seus processos de pesquisas de investigação.

O grupo A aplicou a lama na síntese de membranas cerâmicas com resultados promissores, pois esta metodologia abre a possibilidade de substituir o hidróxido de sódio utilizado por soda cáustica na fabricação de cerâmicas, permitindo assim estudar e possivelmente realizar uma metodologia que não só agregue valor ao material, mas que também permita o reuso de reagentes não tão puros quanto o hidróxido de sódio P.A.¹⁵

O grupo B apresentou o tratamento térmico da lama para obtenção de adsorventes de corantes com a finalidade de tratar efluentes de indústrias têxteis. Foram utilizadas técnicas de espectroscopia de infravermelho e testes de adsorção do corante azul de metileno, variando pH e tempo, para analisar a competência de adsorção. Também deixaram sugestões para trabalhos futuros, como a utilização de análises termogravimétricas e DRX dos compostos tratados termicamente.²²

A obtenção de ferritas a partir da lama da barragem de Fundão e suas aplicações como catalisadores nas reações de foto-Fenton em corantes têxteis foi proposta do grupo C, que

observou a fotodegradação de um corante comercial. Também relacionaram a variação de pH com a velocidade de degradação, obtendo uma absorbância mais eficaz com o pH 3.²³

O último grupo relatou a aplicação da lama, juntamente com resíduo plástico, para o desenvolvimento de madeira plástica, salientando a importância da continuidade da pesquisa para aplicação em larga escala.²⁴

Todos os resultados foram apresentados em forma de seminário pelos grupos, sendo avaliadas as contribuições da metodologia ABP na construção do conhecimento e na formação profissional dos alunos ao final de cada apresentação. Ao analisar as transcrições dos áudios, pode-se inferir que o uso de metodologias que conciliam teoria e prática motivou os alunos e possibilitou reflexões sobre o futuro profissional, como pode ser observado na Tabela 4 abaixo:

Além disso, as análises de algumas falas indicam o desenvolvimento de habilidades e competências ao longo do processo, tornando a aprendizagem mais significativa. A capacidade de resolver problemas é uma das habilidades mais trabalhadas na ABP, pois os alunos precisam trazer soluções para a questão motriz. Como mostrado acima, todos os grupos conseguiram apresentar possíveis soluções a partir de pesquisa científica, levantamento de ideias, planejamento e gestão, o que desenvolveu a capacidade de resolução de problemas e a criatividade (A8).

Tabela 4. Contribuições da ABP para a formação profissional e construção do conhecimento

Contribuições ABP	Relatos ao final das apresentações dos artefatos
Consciência Ambiental	A10: “No geral eu achei que a disciplina estimulou de forma crítica de se pensar a respeito de como nós, químicos, influenciemos de forma positiva ou negativa o meio ambiente, algo importante para que nos formemos como profissionais conscientes.”
Integração de Teoria e Prática	A12: “Então esse tipo de ensino que traz a parte prática pra sala é bastante importante e ajuda muito o aluno a entrar em contato com uma rotina um pouco mais próxima a de um químico.”
Construção do conhecimento	A8: “Esse tipo de abordagem abrange metodologias de ensino que deveriam ser aplicados em todas as disciplinas, pois o aluno aprende através da construção do conhecimento.”
Motivação a partir de problemas do mundo real	A9: “A professora conseguiu mostrar os conceitos teóricos e aplicar, não apenas por aula prática, mas através de projetos de pesquisa envolvendo um problema ambiental muito sério que ocorreu em nosso país.”
Conceitos prévios e as novas descobertas	A6: “Mas de qualquer forma é muito legal porque a gente tem tipo um material para dar uma finalidade diferente, a gente aprende que esses resíduos e rejeitos podem ter uma finalidade e não simplesmente o descarte.”

Saber trabalhar em equipe na resolução de problemas também é uma das habilidades mais importantes adquiridas na ABP, já que é crucial para as atividades profissionais do século XXI.³ Esta habilidade foi presenciada desde a apresentação das normas até as soluções propostas para a questão motriz. O trabalho colaborativo evidenciou os pontos fortes de cada integrante da equipe, como o espírito de liderança, a capacidade de organização, função executiva e capacidade de escutar (A9). Além disso, os grupos tiveram que adaptar normas de acordo com os equipamentos disponíveis no laboratório, o que trabalhou a habilidade de tomada de decisão, capacidade de adaptação e mudanças no percurso (A7).

A8: “[...] com uma proposta de avaliação não baseada em reproduzir conteúdo ou questão de exercícios, mas saber aplicar e resolver problemas utilizando os conhecimentos ao longo do curso.”

A9: “A atenção dada pela professora e o trabalho em equipe entre os alunos fizeram desta uma disciplina completa [...]”

A7: “Trabalhando dessa forma, a gente reconhece que a teoria muitas vezes para aquele procedimento específico não é muito adequado e aí você tem que adaptar. Por exemplo, no teste de pH que a gente ia fazer a gente precisava de uma centrífuga e a gente não tinha, então a gente estava fazendo a filtração no papel para conseguir ter um material livre de partículas para poder fazer a leitura no UV.”

Portanto, os resultados obtidos mostram que a utilização da metodologia de ensino ABP na perspectiva de EA motivou os alunos a buscarem soluções tendo como base o conhecimento científico adquirido não só na disciplina, mas ao longo da graduação, mostrando o potencial que eles possuem.

4. Considerações Finais

A experiência educacional proposta possibilitou a articulação do conhecimento teórico com o desenvolvimento de atividades laboratoriais, em que os grupos de alunos pesquisaram, analisaram e propuseram aplicações úteis para os resíduos, utilizando materiais, recursos e equipamentos acessíveis.

Portanto, os resultados permitem argumentar em favor do uso do rejeito de mineração como uma alternativa sustentável para a reutilização desses resíduos sólidos. Verificou-se também que o processo educacional utilizando a ABP para trabalhar problemáticas ambientais realçou a capacidade investigativa e criativa dos alunos, obtendo-se um maior aproveitamento didático-pedagógico no ensino superior de química.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da REDE Candonga (Projeto FAPES/FAPEMIG). Os autores agradecem aos estudantes que participaram com muito empenho da disciplina, contribuindo para o sucesso desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

¹ Silva, C. M.; Arbilla, G. Antropoceno: Os Desafios de um Novo Mundo. *Revista Virtual Química* 2018, 10, 1619. [CrossRef]

² Miranda, J. L.; Gomes, F.; de Almeida, C. D.; Gerpe, R. O Antropoceno, a educação ambiental e o ensino de química. *Revista Virtual Química* 2018, 10, 1990. [CrossRef]

³ Bender, W. N. *Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI*, 1a. ed., Penso: Porto Alegre, 2015.

⁴ Chassot, A. I.; *Educação ConSciência*, 1a ed., Edunisc: Santa Cruz do Sul, 2003.

⁵ Reigota, M.; *O que é educação ambiental?*, 1a ed. eBook, Brasiliense: Tatuapé, 2017.

⁶ Araújo, U. F.; Sastre, G.; *Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino Superior*, 4a ed., Summus: São Paulo, 2009.

⁷ Ribeiro, L. R. C.; *Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior*, 1a ed. eBook, EdUFSCAR: São Carlos, 2008.

⁸ Davis, E. J.; Pauls, S.; Dick, J. Project-Based Learning in undergraduate environmental chemistry laboratory: using EPA methods to guide student method development for pesticide quantitation. *Journal of Chemical Education* 2017, 94, 451. [CrossRef]

- ⁹ Diawati, C.; Liliassari; Setiabudi, A.; Buchari. Using Project-Based Learning to design, build, and test student-made photometer by measuring the unknown concentration of colored substances. *Journal of Chemical Education* 2018, 95, 468. [CrossRef]
- ¹⁰ Ballesteros M. A.; Daza, M. A.; Valdés J. P.; Ratkovich, N.; Reyes, L. H. Applying PBL methodologies to the chemical engineering courses: Unit operations and modeling and simulation, using a joint course project. *Education for Chemical Engineers* 2019, 27, 35. [CrossRef]
- ¹¹ Chu, S. K. W.; Zhang, Y.; Chen, K.; Chan, C. K.; Lee, C. W. Y.; Zou, E.; Lau, W. The effectiveness of wikis for project-based learning in different disciplines in higher education. *The Internet and Higher Education* 2017, 33, 49. [CrossRef]
- ¹² Lianda, R. L. P.; Joyce, B. Applying Project-Based Learning (PBL) in the organic chemistry course while studying honey. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação* 2018, 13, 407. [CrossRef]
- ¹³ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ¹⁴ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ¹⁵ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ¹⁶ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ¹⁷ DNPM. Sumário Mineral. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/>>. Acesso em: 27 maio 2019.
- ¹⁸ Cordeiro, M. C.; Garcia, G. D.; Rocha, A. M.; Tschoeke, D. A.; Campeão, M. E.; Appolinario L. R.; Soares, A. C.; Leomil, L.; Froes, A.; Bahiense, L.; Rezende, C. E.; Almeida, M. G.; Rangel, T. P.; Oliveira, B. C. V.; Almeida, D. Q. R.; Thompson, M. C.; Thompson C. C.; Thompson F. L. Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. *Science of The Total Environment* 2019, 654, 1209. [CrossRef]
- ¹⁹ Samarco Mineração. Disponível em: <<https://www.samarco.com/rompimento-de-fundao/>>. Acesso em: 29 abril 2019.
- ²⁰ Campos, H. K. T. Recycling in Brazil: Challenges and prospects. *Resources, Conservation and Recycling* 2014, 85, 130. [CrossRef]
- ²¹ Souza, K.C.; Antunes, M.L.P. Adsorção do corante reativo azul 19 em solução aquosa por lama vermelha tratada quimicamente com peróxido de hidrogênio. *Química Nova* 2013, 36, 651. [CrossRef]
- ²² Lima, R. C. O.; Lira, H. L.; Neves, G. A.; Silva, M. C.; Silva, C. D. Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* 2011, 6, 163. [Link]
- ²³ Mota, A. L. N.; Albuquerque, L. F.; Beltrame, L. C.; Chivone-filho, O.; Machulek Jr, A.; Nascimento, C. A. Advanced oxidation processes and their application in the petroleum industry: a review. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas* 2009, 2, 122. [Link]
- ²⁴ Souza, R. E.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil, 2013. [Link].
- ²⁵ Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
- ²⁶ PCPDFWIN. International Center for Diffraction Data. 1996. Version 1.20 JCPDS-ICCD.

Material Suplementar

Questionário I

1. Você já se envolveu com pesquisa de Iniciação Científica? Se sim, em qual área e qual o tema da pesquisa?
2. Você trabalha (faz estágio) ou já trabalhou (estagiou) em alguma empresa relacionada à sua graduação? Se sim, em qual área especificamente você atuou?
3. O que é resíduo?
4. Como caracteriza um resíduo?
5. O que te motivou a fazer esta disciplina?

Questionário II

1. Você teve algum contato anterior com as normas da ABNT que foram estudadas? Se sim, diga quando e como foi a experiência.
2. Para que servem as normas da ABNT estudadas?
3. Escreva quais as primeiras impressões que você teve ao ler/estudar a norma.
4. Relate de forma detalhada o que você aprendeu com a sua apresentação e com as apresentações dos outros grupos.
5. As apresentações dos seminários te auxiliaram a compreender como funciona a classificação de resíduos nas indústrias? Justifique.
6. Quais foram as contribuições que a apresentação deste seminário trouxe para a sua formação?