



# Produção de Madeira Plástica a partir do Rejeito de Mineração e Resíduo Plástico: Uma Atividade Experimental

## Plastic Wood Production from Mining Tailings and Plastic Waste: An Experimental Study

Thaiany S. C. Bressiani,<sup>a</sup> Lucas Lorenzini,<sup>a</sup> Tainara R. Neves,<sup>a</sup> Matheus B. Alvarenga,<sup>a</sup> Sandra A. D. Ferreira,<sup>a</sup> Paulo R. G. Moura,<sup>a</sup> Maria de Fátima F. Lelis<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas, Campus Goiabeiras, 29075-910, Vitória-ES, Brasil.

\*E-mail: [mfflelis@yahoo.com.br](mailto:mfflelis@yahoo.com.br)

Recebido em: 29 de Dezembro de 2021

Aceito em: 15 de Março de 2021

Publicado online: 7 de Abril de 2022

The present work addresses the environmental issue of solid waste in an experimental chemistry class aiming to reduce mining and plastic waste to produce plastic wood. The activities were developed with the participation of undergraduate students from the Chemistry course (UFES – Universidade Federal do Espírito Santo) in the discipline “*Waste Treatment in the Environment*” and students from the Civil Engineering course, that are using “*Environmental Education*” as theoretical support. The tailings used were characterized by XRD indicating the presence of SiO<sub>2</sub> (silica), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematite) and Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub> (kaolinite) as main components. The plastic wood sample produced showed surface aspects and color like those of natural wood. The preparation of a technological, sustainable, and economically viable product from waste was discussed in the classroom. Those experimental activities allowed a joint reflection with the students about the environmental issues and how the use of waste, to prepare new materials in the classroom, may promote transformative training, capable of influencing the future of these professionals and hopefully leading to more creative decision-making, with a focus on sustainable development and social responsibilities.

Keywords: Environmental education; sustainability; mining wastes; plastic wood.

## 1. Introdução

Os resíduos sólidos (RS) são considerados uma grande preocupação mundial devido à sua geração excessiva e gerenciamento inadequado. Aliados a essa tendência, o crescente interesse sobre as questões ambientais, cada vez mais demandam produtos e processos produtivos com um menor impacto ao meio ambiente, o que aumenta a importância dos ganhos de eficiência no uso dos recursos naturais. Os programas nacionais de prevenção de resíduos têm se tornado um grande desafio para as políticas públicas ambientais.<sup>1-3</sup> A correta separação dos RS, o controle de desperdícios e a sustentabilidade são assuntos bastante abordados atualmente. O conceito de economia circular traz uma importante contribuição para um melhor uso dos recursos naturais, com maior aproveitamento da matéria-prima. Os geradores de resíduos devem priorizar a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição ambientalmente correta dos RS, promovendo o desenvolvimento sustentável.<sup>4</sup>

Alternativas para a redução dos RS vêm sendo adotadas por muitos estados brasileiros, embasadas pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).<sup>4</sup> Durante a pandemia de Covid-19, diversos países, incluindo o Brasil, aumentaram consideravelmente a geração de materiais descartáveis do tipo plástico e isopor, principalmente nos grandes centros urbanos.<sup>5,6</sup> Além disso, alguns bares e restaurantes optaram pelo uso de materiais descartáveis como medida para diminuir a contaminação do vírus causador da Covid-19,<sup>7,8</sup> agravando ainda mais o acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente.<sup>9-13</sup> O ambiente marinho registra anualmente uma crescente quantidade de ingestão de plástico por animais, envolvendo mais de 1.200 espécies, incluindo todas as famílias de aves e mamíferos marinhos.<sup>9</sup>

Dentre as matrizes plásticas, o Poliestireno (PS) e o Polipropileno (PP) são os polímeros termoplásticos mais utilizados, resultantes da polimerização do estireno extraído do petróleo, que podem ser aquecidos até fusão e resfriados até a solidificação em um processo reversível.<sup>14,15</sup> Esta maleabilidade dos termoplásticos permite uma ampla utilização em diversos produtos como fibras, filmes, embalagens, sendo que uma das aplicações mais comum é a fabricação de copos descartáveis. Em relação ao tratamento e descarte de resíduos plásticos, a reciclagem mecânica,

a incineração e a deposição em aterros são os métodos mais amplamente empregados no gerenciamento destes resíduos em todo o mundo.<sup>7,11,16</sup> As iniciativas locais para diminuir a poluição por plástico ajudam, mas a resolução do problema somente se dará com alianças e compromissos globais.

O plástico é o RS urbano de maior potencial para reciclagem no mundo, apesar de ser no Brasil ainda muito pequena, devido às formas de descarte adotadas que não favorecem o potencial de reciclagem do produto. Dentre os processos apresentados, a reciclagem mecânica é a mais simples e a mais ambientalmente correta. Na reciclagem mecânica, o PS é convertido em granulados que podem ser reutilizados na produção de novos produtos.<sup>17</sup> Dentre esses resíduos, destaca-se a reciclagem de copos de PS, que embora seja possível, é pouco lucrativa, e o retorno acaba sendo baixíssimo para os catadores, cooperativas e recicladores. Além disso, os copos são descartados muito sujos, necessitando do consumo de água para lavagem, o que torna o processo não sustentável.

A pandemia da Covid-19 trouxe uma oportunidade de reflexão sobre o uso desse tipo de material que diariamente é consumido em grande escala em relação a outros resíduos. A reutilização dos resíduos, gerando benefícios diretos, de forma mais consciente e sustentável, tanto na redução da poluição ambiental como na preservação dos recursos naturais, são questões que ultimamente vem sendo debatidas e repensadas pela sociedade de modo geral.<sup>9,10,5,6</sup>

Na indústria de mineração, a atividade de extração e o beneficiamento do minério para a obtenção de concentrados de minério de ferro, produz uma grande quantidade de rejeitos, que geralmente são depositados em barragens ou usados para preencher valas de mineração.<sup>18</sup> Apesar do monitoramento e esforços de empresas e órgãos reguladores, as barragens de rejeitos apresentam riscos significativos relacionados à estabilidade e ruptura.<sup>19</sup> O rompimento das barragens de Brumadinho (MG) e de Fundão em Mariana (MG) estão entre os maiores acidentes ambientais ocorridos no Brasil nos últimos anos. As discussões sobre esse problema se intensificaram mobilizando pesquisas sociais, políticas ambientais e tecnológicas,<sup>20,21</sup> para definir estratégias no sentido de promover o uso mais consciente e responsável dos resíduos nas fontes geradoras. Assim, é notório o desafio de conciliar o desenvolvimento econômico, a integração social e a preservação ambiental.

Pesquisas visando o aproveitamento dos rejeitos da mineração na produção de novos materiais é uma opção sustentável para reduzir o volume contido nas barragens. Por meio da educação ambiental, inovação científica, responsabilidade socioambiental, alguns estudos trouxeram propostas de reaproveitamento de rejeitos de mineração para a fabricação de novos produtos, como a fabricação de blocos, tijolos, adsorventes, catalisadores, cerâmicas, concreto, entre outros.<sup>18,22-24</sup>

Nesse contexto, o desenvolvimento de um produto tecnológico, sustentável e economicamente viável, a partir de resíduos potencialmente poluentes foi abordado em sala

de aula. O presente trabalho teve como objetivo principal buscar alternativas para minimizar os RS, proporcionando a elaboração de uma atividade experimental sobre o tratamento de resíduos adaptado ao contexto das aulas de Química. A discussão de temas sociais juntamente com o ensino de Química desempenha papel fundamental na formação de cidadãos para adquirirem habilidades básicas e capacidade de tomada de decisões.<sup>25</sup> Assim, em uma aula experimental planejada sob uma perspectiva investigativa e pensando na minimização dos impactos ambientais e na valorização e transformação de rejeito de mineração e resíduo plástico, os alunos desenvolveram um protótipo de madeira plástica, alternativa economicamente viável, que permite remediar e reciclar o rejeito da mineração, proveniente do rompimento da barragem de Fundão (MG) juntamente com os plásticos descartáveis. Associar dois ou mais resíduos potencialmente poluidores na geração de algo sustentável foi o fator motivador no desenvolvimento da madeira plástica, pelos alunos do curso de química com o intuito de utilizar o procedimento em aulas experimentais do curso de Engenharia Civil.

## 2. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida no contexto da disciplina “*Tratamento de Resíduos em Meio Ambiente*”, ofertada aos alunos do curso de Química na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES - Vitória ES), integrando ciência e educação, com base no desenvolvimento sustentável, tendo como suporte teórico os pressupostos para a educação ambiental e a integração com os alunos do curso de Engenharia Civil. A professora responsável pela disciplina ministrou uma aula sobre o processamento de minério de ferro e os resíduos gerados neste processo, introduzindo a problemática ambiental relacionada ao rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG). Foi também realizado um estudo sistemático da problemática dos resíduos no meio ambiente por meio do desenvolvimento de conceitos, definições e conhecimentos relacionados à composição, geração e descarte correto dos RS, bem como a possibilidade de reciclagem dos materiais que os compõem.

Após a explanação e discussão do conteúdo, os alunos foram incentivados a desenvolverem um novo produto a partir do rejeito de mineração, proveniente do rompimento da barragem de Fundão, coletada na Usina Hidrelétrica de Candongas (MG). Além da professora responsável, a disciplina, teve apoio de uma aluna do curso de mestrado na elaboração e execução das atividades experimentais, que são consideradas uma importante ferramenta nos processos de ensino e aprendizagem, com função pedagógica de auxiliar os alunos na significação dos conceitos.<sup>26</sup> Os primeiros passos foram relacionados aos conceitos de classificação e caracterização dos RS e em seguida a caracterização por difração de raios X (DRX), separação granulométrica, análise química por dicromatometria e por Espectrometria

de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).

### 2.1. Caracterização da amostra de rejeito

Um seminário sobre a ABNT NBR 10004:2004<sup>27</sup> e normas relacionadas foi elaborado e apresentado aos alunos. Após a apresentação, os alunos foram ao laboratório para execução do processo de amostragem do rejeito,<sup>27</sup> como mostra a Figura 1. A amostra foi desagregada, misturada e quarteadada, sendo acondicionada em frasco de plástico para posterior análises.

A extração dos metais níquel, manganês, cobre, cromo, chumbo e cádmio foi realizada pelo método EPA 3050B<sup>28</sup> e as concentrações determinadas por ICP-OES. Os metais também foram avaliados no extrato do ensaio de lixiviado, segundo a norma ABNT 10005:2004.<sup>27</sup>

Uma amostra do rejeito foi enviada para caracterização mineralógica por DRX (Shimadzu XRD 600), com radiação monocromática Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ) a uma velocidade de  $0,02^\circ$ , e uma taxa de varredura de  $2\theta \text{ min}^{-1}$  ( $10\text{--}90^\circ$ ).

A amostra recebeu tratamento adequado, com ácido clorídrico concentrado sob aquecimento e posterior filtração segundo a ABNT NBR 8577:2011,<sup>29</sup> para a determinação da concentração total de ferro pelo método de titulação volumétrica com solução padrão de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .<sup>30</sup>

### 2.2. Procedimento experimental para obtenção da madeira plástica

A abordagem baseada na investigação é uma estratégia

de ensino que facilita aos alunos a aprendizagem de conceitos científicos e sobre a natureza da química através da investigação experimental, permitindo-lhes participar nas aulas de química como investigadores. Assim, a proposta inicial para utilização do rejeito de mineração, de copos plásticos descartáveis (coletados nas cantinas da Universidade) e do óleo de soja, usado como um aglutinante, foi introduzida somente após momentos de reflexões e discussões realizados com os alunos, antes de propor a rota metodológica para a produção de madeira plástica.

Inicialmente, os copos descartáveis (PS) foram picados com o auxílio de uma tesoura e em seguida triturados em pequenos pedaços usando um moinho de corte (Retsch SM 300) e em seguida passado em peneira de 1,0 mm. Logo após, todo o material necessário para a fabricação da madeira plástica foi preparado: o rejeito de mineração; os copos descartáveis picotados; o aglutinante (óleo de soja); balança; placa de aquecimento; bquer; espátula; forminha de alumínio e luva plástica.

Inicialmente foram preparadas duas misturas na proporção de 70 e 60% de copos descartáveis picotados e 30 e 40% de rejeito de mineração, respectivamente. O rejeito de mineração ficou aderido na superfície do material plástico com a adição de gotas de óleo de soja como aglutinante. A amostra foi colocada para aquecer diretamente numa chapa de aquecimento a  $300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5$  em uma forminha de alumínio. A madeira plástica foi moldada sob pressão colocando outra forminha de alumínio de menor diâmetro, sobre a que se encontra em aquecimento com o material sendo lentamente amolecido. Após este processo, o material foi resfriado, mas mantido no molde (Figura 2).



Figura 1. Preparação da amostra segundo a ABNT 10007:2004 (quarteamento)



Figura 2. Madeira plástica moldada em forminha de alumínio

O planejamento e execução de uma aula experimental destinada aos alunos do curso de Engenharia Civil da UFES, matriculados na disciplina “*Química Experimental A*” coube a uma aluna do curso de mestrado e aos alunos da disciplina “*Tratamento de Resíduos em Meio Ambiente*” a tarefa inicial de identificar e analisar as percepções dos futuros engenheiros no que diz respeito aos materiais utilizados na construção civil e seus impactos ambientais na extração e produção de matéria-prima. Assim, eles planejaram uma aula com um experimento de fácil aplicação e execução em um período de uma aula de duas horas. Os demais dados foram coletados durante todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

Primeiramente, a aluna do programa de pós-graduação em Química apresentou a problemática relacionada ao descarte inadequado de resíduo plástico e rejeito de mineração. Além disso, neste primeiro momento, os alunos puderam refletir sobre a responsabilidade ética e profissional que engenheiros civis precisam ter ao planejarem uma construção civil, como uma barragem de rejeito de mineração, por exemplo. Esta intervenção pedagógica ocorreu em duas turmas de Química Experimental, com 19 e 17 alunos, totalizando 36 alunos.

### 3. Resultados e Discussões

No contexto do ensino, o planejamento experimental, a execução do experimento, a interpretação dos resultados e, principalmente, a análise crítica dos dados são fatores importantes na formação de jovens pesquisadores. As atividades de laboratório muitas vezes contornam alguns dos principais desafios enfrentados, equilibrando vantagens e desvantagens para uma variedade de soluções potenciais na resolução de um problema específico. Esta atividade foi projetada para mostrar aos alunos as diversas possibilidades de soluções para um determinado problema e como devem gerenciar a prioridade na hora de escolher a melhor solução.

Ao incentivo à pesquisa científica, somou-se também à formação profissional dos alunos, que ao longo do curso foram motivados a pesquisar e trazer informações sobre o RS e a contaminação do meio ambiente. Verificamos que à maioria dos alunos demonstraram preocupações com os efeitos causados à saúde humana e aos desafios ambientais que os RS representam, da necessidade de reconhecer a extensão do problema e da reflexão por uma forma de resolver essa situação, de maneira apropriada com conhecimento científico.

Para estimular as discussões sobre o lançamento desse material no corpo receptor, a norma ABNT NBR 10004<sup>27</sup> foi apresentada. Esta norma classifica os RS quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Os alunos demonstraram compreensão sobre a norma e a metodologia utilizada na classificação de RS.

#### 3.1. Caracterização do Rejeito

A caracterização mineralógica por difratômetro de raios-X apresentou picos de difração bem definidos (Figura 3) em posições angulares para as fases  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematita),  $\text{SiO}_2$  (sílica) e  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  (caulinita) de acordo com as fichas JCPDS-13-534, 5-0490 e 079-1570, respectivamente.<sup>31</sup> O resultado mostrou que o processo de beneficiamento dos minérios de ferro gera um subproduto enriquecido com óxido de ferro e dióxido de silício, matéria-prima natural de grande interesse para a fabricação de novos materiais. Verificamos que a amostra de rejeito de mineração coletada na usina de Candonga apresentou um teor de óxido de ferro(III) de 26,44% (m/m).

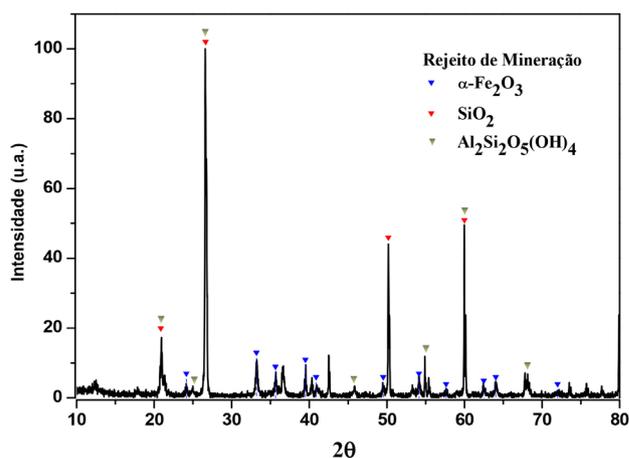


Figura 3. DRX da amostra de rejeito de mineração

A extração dos metais pelo ensaio de lixiviação, segundo a norma da ABNT 10005:2004 e pelo método EPA 3050B teve como objetivo avaliar o grau de liberação dos metais presentes na amostra. Na Tabela 1 encontra-se a análise quantitativa dos metais lixiviados. A comparação dos resultados obtidos com os valores de prevenção segundo à legislação vigente para solos e sedimentos, de acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 420, 2009)<sup>32</sup> e com os valores preconizados na norma ABNT NBR 10004:2004, mostrou que a concentração dos elementos analisados (Ni, Mn, Cu, Cr, Pb e Cd) no rejeito estão abaixo dos valores de prevenção (VP) e do limite máximo estabelecido para os metais analisados. Resultados semelhantes foram obtidos por Pires *et al.*<sup>33</sup> em outros resíduos sólidos provenientes de barragem de rejeito localizada no município de Mariana-MG. Os VP foram propostos para auxiliar no gerenciamento ambiental, indicar alterações da qualidade do solo e sedimentos que possam prejudicar sua funcionalidade e monitorar a introdução de substâncias tóxicas.

Diante dos resultados obtidos na caracterização do material coletado na hidrelétrica de Candongas, os alunos avaliaram a possibilidade de uso do material na produção de novos materiais, valorizando o aproveitamento e reduzindo seu descarte. O aproveitamento dos rejeitos industriais é

**Tabela 1.** Concentração média dos metais na amostra do rejeito de mineração obtida no extrato lixiviado e pelo método EPA 3050B

Metais	Extrato Lixiviado ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Limite máximo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Extrato (EPA 3050B) ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Valores de prevenção ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Ni	42,3	NE	1,85	30
Mn	328,1	1000	29,67	NE
Cu	83,0	1000	6,22	60
Cr	65,7	500	9,02	75
Pb	58,8	500	2,83	72
Cd	27,7	500	0,50	1,3

NE - Não estabelecido pela norma

uma forma de compensar o esgotamento das reservas de matérias-primas e o desequilíbrio provocado pelo crescente volume de resíduos sólidos gerados, além de ser uma alternativa muito promissora em vários países. O resultado foi bastante favorável, e colocou os alunos como eixo central na discussão sobre o uso do rejeito de mineração, valorizando a capacidade de julgamento e de tomada de decisão em relação ao descarte inadequado de um rejeito no meio ambiente.

### 3.2. Produção da Madeira Plástica

A dinâmica adotada permitiu longos debates e os alunos adaptaram os conceitos para a produção de um protótipo de madeira plástica utilizando materiais, recursos e equipamentos acessíveis. A madeira plástica produzida apresentou coloração marrom, devido ao efeito de pigmentação do óxido de ferro presente (Figura 4).

O material produzido apresentou superfície semelhante à da madeira de coloração escura, características importantes e vantajosas para sua utilização em parques, jardins e áreas de recreação na fabricação de bancos, mesas, postes e equipamentos para recreação de crianças. Com base nos conhecimentos apreendidos sobre os RS e na valorização e transformação dos rejeitos e resíduos, os alunos sugeriram a continuidade da pesquisa no contexto da educação tecnológica, conciliando assuntos de seu cotidiano com sua formação profissional. Os dados da pesquisa indicaram que a presença dos rejeitos de mineração e resíduos plásticos oferecem oportunidades de desenvolvimento de uma

experiência em química de forma sustentável conectadas com as questões sociais.

Foi observada uma mudança de percepção e compreensão dos alunos sobre os RS e sua problemática relacionados aos aspectos do conhecimento científico, a necessidade da mudança de hábitos da população e o comportamento social, o que demonstrou o sucesso do experimento proposto. Segundo Marques e Dias (2014),<sup>34</sup> as discussões em torno da problemática ambiental dos RS exige dos alunos uma solução, um posicionamento e interesse em continuar com o projeto. Eles fizeram uma relação das possíveis disciplinas que poderiam se beneficiar com a aplicação do projeto e planejaram e executaram uma aula experimental para os alunos do curso de Engenharia Civil da UFES.

### 3.3. Aplicação da atividade experimental

O momento de conciliação entre a prática e a futura vivência profissional dos alunos de engenharia civil juntamente com a aluna de mestrado e os alunos da química que realizaram todo o planejamento e execução de etapas prévias e necessárias ao desenvolvimento da madeira plástica foi o ponto importante e de relevância para estimular o interesse de todos os envolvidos. Ao serem perguntados sobre a importância da prática para a formação profissional, as respostas dos alunos A2 e A4 ratificam o que foi dito:

**A2:** “Foi importante para mostrar que engenheiros civis além de se preocuparem com os projetos que executam, devem se preocupar com o impacto ambiental do empreendimento. Além disso, mostrou uma possibilidade



**Figura 4.** (a) PS em grânulos, rejeito e óleo; (b) amostra de madeira plástica com 30% de rejeito e (c) amostra de madeira plástica com 40% de rejeito

*de utilização do rejeito – atividade que, se fosse empregada amplamente, reduziria o impacto da mineração.”*

**A4:** *“Além de me inspirar por me mostrar o que conseguimos fazer pelo mundo com a ciência, contribuiu para a minha formação como engenheira no que diz respeito à ética, responsabilidade socioambiental.”*

A discussão trouxe conscientização para os alunos sobre a responsabilidade ética e socioambiental que terão como futuros engenheiros.

Após a explicação, as turmas foram divididas em grupos de 4 alunos, cada grupo recebeu o roteiro com a descrição do experimento (material suplementar). O material necessário para a realização da prática laboratorial já estava disponível nas bancadas do laboratório, para cada grupo, pois foi previamente preparado pela aluna do curso de mestrado e pelos alunos do curso de química matriculados na disciplina *“Tratamento de Resíduos em Meio Ambiente”*.

É importante ressaltar que algumas adaptações foram feitas para que essa prática pudesse ser realizada em um laboratório de ensino de atividades experimentais. Os copos descartáveis picotados (PS) foram substituídos por embalagens plásticas transparentes (PP), que possuem propriedades muito semelhantes ao poliestireno, apesar do ponto de amolecimento mais baixo, devido à temperatura de fusão (165 °C) em relação ao PS (230 °C). A presença do anel aromático na unidade estrutural do PS, apresenta forte energia de ligação necessitando de uma maior temperatura e tempo para as rupturas da cadeia poliméricas.<sup>35</sup>

Durante o experimento intitulado *“A produção de um composto,”* vários aspectos foram abordados, como a produção de madeira plástica com vista à substituição da madeira convencional, desenvolvimento de habilidades de raciocínio, pensamento científico e crítico, e em particular, uma forma de analisar uma questão semelhante em um contexto mais amplo: a madeira plástica, para ser utilizada em ambientes externos substituindo a madeira comum, com características importantes quanto à resistência à corrosão de intempéries e às pragas, como cupins e roedores. Também foi possível discutir com os alunos sobre a responsabilidade ética e socioambiental que eles terão como futuros engenheiros.

As discussões e reflexões sobre o assunto foram enriquecedoras do ponto de vista dos professores e dos estudantes na compreensão do papel da educação formal. A atividade experimental ocorreu de forma planejada, com dinâmica e discussão de forma clara e motivadora.

Os estudantes perceberam os propósitos das atividades experimentais que não se limitavam apenas a verificar e comprovar fatos e leis científicas, mas de permitir discussões e interpretações dos dados obtidos, além de propiciar situações de investigação e despertar o interesse para a apropriação do conhecimento através de situações problema.

A Figura 5 mostra o protótipo da madeira plástica desenvolvida pelos alunos do curso de Engenharia Civil da UFES. O desenvolvimento deste produto de baixo custo e relevância tecnológica, proporcionou discussões e reflexões sobre uma alternativa eficiente para o reaproveitamento dos rejeitos de mineração de ferro e de resíduos plásticos. A atividade experimental forneceu uma plataforma para discutir o uso insustentável atual de plásticos e trazer a consciência para a inovação tecnológica para soluções sustentáveis.

Os autores sugeriram ampliar os estudos para aplicação em larga escala e de testes que se apliquem à madeira convencional para verificar as propriedades mecânicas, como resistência à tração, dureza, compressão, resistência ao impacto, densidade relativa, entre outras, seguindo os métodos das normas ASTM. Também é importante investigar propriedades físicas, como absorção de água, durabilidade e resistência ao impacto.

### 3.4. Análises do desenvolvimento do projeto de ensino

Ao final do experimento, os alunos responderam a seguinte questão: *Quais foram as contribuições desta prática para a sua formação?* A Tabela 2 traz algumas respostas sobre as contribuições da aula experimental na produção de madeira plástica e na formação profissional dos alunos do curso de Engenharia Civil.

É interessante observar como o desenvolvimento da aula experimental baseado em investigação para síntese verde e sustentabilidade ajudou os alunos a desenvolver suas habilidades. Nesse sentido, percebe-se a necessidade de cursos que abordem esse tema nas universidades, a fim de contribuir para a formação dos alunos, estimular a pesquisa nessa área, buscando uma formação profissional mais ampla e contextualizada no sentido de aumentar a participação dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem. É perceptível que houve uma reflexão por parte dos alunos com relação ao seu papel como futuros profissionais que podem contribuir com as questões socioambientais que os envolvem, bem como evidenciar sua capacidade



**Figura 5.** Amostra de madeira plástica desenvolvida pelos alunos

**Tabela 2.** Respostas de alguns alunos do curso de Engenharia Civil (UFES).

Aluno	Respostas
1	“A prática apresentada proporcionou a ampliação do entendimento da química e da utilização de materiais não convencionais na área da construção civil.”
2	“Realizar esse experimento abriu minha mente para muitas outras possibilidades de pesquisa que tenho interesse e que, ao mesmo tempo, promoverá benefícios socioambientais.”
3	“Incentivou o conhecimento sobre os processos de construção civil sustentável, mostrando como podemos ter qualidade e sustentabilidade ao mesmo tempo.”
4	“Ressalta a importância da pesquisa científica a fim de tornar o processo de construção civil sustentável.”
5	“A prática trouxe diversos benefícios para o meio ambiente e consequentemente, para a minha formação, já que a preservação do meio ambiente é essencial para a sobrevivência da humanidade e os resíduos descartados incorretamente são o maior problema atual.”
6	“Além de auxiliar no entendimento dos fenômenos do dia a dia, a química serve para elaborar novos e modernos materiais, otimizando as técnicas que podem ser utilizadas na construção civil.”

investigativa e criativa. Essas interações com os alunos geraram situações envolvendo dilemas e oportunidades de aprendizado para a resolução de problemas e habilidades de tomada de decisão.

As interações entre o professor e os alunos favoreceram a interpretação de que as ações visavam a criação de oportunidades de aprendizagem que revelassem o potencial criativo do aprendiz. À medida que o conhecimento sobre o desenvolvimento e a aprendizagem tem crescido em um ritmo rápido, a oportunidade de moldar práticas educacionais mais eficazes também foi aumentando. Tirar proveito desses avanços, no entanto, requer a integração de percepções em vários campos - das ciências do desenvolvimento e da aprendizagem - e conectá-las ao conhecimento de abordagens bem sucedidas que estão surgindo na educação.

#### 4. Considerações Finais

Os resultados demonstraram que a implementação e o desenvolvimento da aula experimental pautada na problematização dos RS, possibilitou aos alunos a busca por alternativas viáveis e sustentáveis para o descarte do rejeito do rompimento da barragem de Fundão (Mariana, MG). O desenvolvimento das atividades ampliou o conhecimento científico dos alunos sobre a problemática dos RS e as diversas relações entre consumo e consequências de um descarte inadequado. As habilidades e competências desenvolvidas pelos alunos da disciplina de *Tratamento de Resíduos* (Química) e dos alunos de engenharia civil na disciplina experimental ressaltam a importância de interação entre profissionais que futuramente enfrentarão no dia a dia, questões ambientais no contexto técnico-científica, de controle de consumo, de reciclagem e

reaproveitamento, cada vez maior, no sentido de reduzir os impactos ambientais causados pelos RS, além de preservar os recursos naturais e apoiar a economia circular para produção e consumo sustentáveis. O compósito madeira-plástico é um material muito promissor e sustentável, com potencial para ser utilizado na fabricação de vários tipos de objetos. A utilização desses materiais produz acabamentos superficiais semelhantes aos da madeira, o que confere ao plástico madeira um aspecto atraente. Novos estudos devem ser realizados para testar as propriedades físicas e mecânicas desta amostra para aplicação em larga escala.

Uma questão importante a destacar é que a experiência proporcionou aos graduandos em Química uma melhor compreensão dos conteúdos, abordando as questões ambientais e o tratamento de resíduos, resultando na obtenção de um produto sustentável. É importante ressaltar que a pesquisa aqui apresentada proporcionou a oportunidade de discutir com os alunos do curso de Química e de Engenharia Civil, uma atividade que foi além do planejamento e execução de uma simples aula experimental, pois promoveu importantes reflexões que apontaram para a compreensão da química na sua formação profissional.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem aos estudantes que participaram com muito empenho e contribuíram com o desenvolvimento desta pesquisa. A UFES pelo fornecimento das instalações e a Rede Candonga pelo suporte financeiro, em especial ao laboratório de Difração de Raios-X do NCPQ e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### Referências Bibliográficas

- Silva, V. P. M.; Capanema, L. X. L.; Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil. *BNDES* **2019**, 25, 153. [[Link](#)]
- Kirchherr, J.; Reike, D.; Hekkert, M.; Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling* **2017**, 127, 221. [[Crossref](#)]
- Verster, C.; Minnaar, K.; Bouwman, H.; Marine and Freshwater Microplastic Research in South Africa. *Integrated Environmental Assessment and Management* **2017**, 13, 533. [[Crossref](#)]
- Brasil. Lei nº12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União* 2010; Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 10 de dezembro 2021.
- Clayton, C. A.; Walker, T. R.; Bezerra, J. C. A.; Adam, I.; Policy responses to reduce single-use plastic marine pollution in the Caribbean. *Marine Pollution Bulletin* **2021**, 162, 111833. [[Crossref](#)]
- A Covid-19 e o consumo de plásticos descartáveis. Disponível

- em: <<https://www.ufrgs.br/coronaviruslitoral/crise-da-biodiversidade/>> Acesso em: 10 de dezembro 2021.
7. Parashar, N.; Hait, S.; Plastics in the time of COVID-19 pandemic: Protector or polluter? *Science of The Total Environment* **2021**, *759*, 144274. [Crossref]
  8. Nzediegwu, C.; Chang, S. X.; Improper solid waste management increases potential for COVID-19 spread in developing countries. *Resources, Conservation & Recycling* **2020**, *161*, 104947. [Crossref]
  9. Santos, R. G.; Machovsky-Capuska, G. E.; Andrades, R.; Plastic ingestion as an evolutionary trap: Toward a holistic understanding. *Science* **2021**, *373*, 56. [Crossref]
  10. Silva, P. H. S.; Sousa, F. D. B.; Microplastic pollution of Patos Lagoon, south of Brazil. *Environmental Challenges* **2021**, *4*, 100076. [CrossRef]
  11. Adam, I.; Walker, T. R.; Bezerra, J. C.; Clayton, A.; Policies to reduce single-use plastic marine pollution in West Africa. *Marine Policy* **2020**, *116*, 103928. [Crossref]
  12. Leal Filho, W.; Saari, U.; Fedoruk, M.; Iital, A.; Moora, H.; Kloga, M.; Voronova, V.; An overview of the problems posed by plastic products and the role of extended producer responsibility in Europe. *Journal of Cleaner Production* **2019**, *214*, 550. [Crossref]
  13. Jambeck, J. R.; Geyer, R.; Wilcox, C.; Siegler, T. R.; Perryman, M.; Andrady, A.; Narayan, R.; Law, K. L.; Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* **2015**, *347*, 768. [Crossref]
  14. Baskaran, S.; Sathivelu, M.; Application of attenuated total reflection - fourier transform infrared spectroscopy to characterize the degradation of littered multilayer food packaging plastics. *Vibrational Spectroscopy* **2020**, *109*, 103105. [Crossref]
  15. Spinacé, M. A. S.; De Paoli, M. A.; A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova* **2005**, *28*, 65. [Crossref]
  16. Sommerhuber, P. F.; Wang, T.; Krause, A.; Wood-plastic composites as potential applications of recycled plastics of electronic waste and recycled particleboard. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *121*, 176. [Crossref]
  17. Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica de plástico no Brasil (IRMP) 2011. Disponível em: <<http://www.plastivida.org.br/images/temas/ApresentacaoIRMP2011.pdf>>. Acesso em: 10 de dezembro 2021.
  18. Zuccheratte, A. C. V.; Freire, C. B.; Lameiras, F. S.; Synthetic gravel for concrete obtained from sandy iron ore tailing and recycled polyethyltherephtalate. *Construction and Building Materials* **2017**, *151*, 859. [Crossref]
  19. DNPM, 2017. Sumário Mineral. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. Disponível em: Sumário Mineral — Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br)). Acesso em: 10 de dezembro 2021.
  20. 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]
  21. Candamio, L. V.; Corti, I. N.; Álvarez, M. T. G.; The importance of environmental education in the determinants of green behavior: A meta-analysis approach. *Journal of Cleaner Production* **2018**, *170*, 1565. [Crossref]
  22. Fontes, W. C.; Carvalho, J. M. F.; Andrade, L. C. R.; Segadães, A. M.; Peixoto, R. A. F.; Assessment of the use potential of iron ore tailings in the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to “brown porcelain”. *Construction and Building Materials* **2019**, *206*, 111. [Crossref]
  23. Ferreira, S. A. D.; Donadia, J. F.; Gonçalves, G. R.; Teixeira, A. L.; Freitas, M. B. J.; Fernandes, A. A. R.; Lelis, M. F. F.; Photocatalytic performance of granite waste in the decolorization and degra-dation of Reactive Orange 122. *Journal Of Environmental Chemical Engineering* **2019**, *7*, 103. [Crossref]
  24. 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]
  25. Santos, M.; Uso da História da Ciência para Favorecer a Compreensão de Estudantes do Ensino Médio sobre Ciência. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **2018**, *18*, 641. [Link]
  26. Santos, W. L. P.; Schnetzler, R. P.; Função social: O que significa o ensino de química para formar o cidadão? *Química Nova na Escola* **1996**, *4*, 28. [Link]
  27. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
  28. Kimbrough, D. E.; Wakakuwa, J. R.; Acid digestion for sediments, sludges, soils, and solid wastes. A proposed alternative to EPA SW 846 Method 3050. *Environmental Science & Technology* **1989**, *23*, 898. [Crossref]
  29. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR ISSO 8577: Minérios de ferro -Determinação do teor de ferro total por dicromatometria. São Paulo, 2011.
  30. Baccan, N.; Andrade, J. C.; Godinho, O. E. S.; Barone, J. S.; *Química Analítica Quantitativa Elementar*, 3a. ed., Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 2001.
  31. PCPDFWIN. International Center for Diffraction Data. 1996. Version 1.20 JCPDS-ICCD.
  32. Brasil, 2005. Resolução CONAMA 357. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.
  33. Pires, J. M. M.; Lena, J. C.; Machado, C. C.; Pereira, R. S.; Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco mineração: estudo de caso da barragem de germano. *Sociedade de Investigações Florestais* **2003**, *27*, 393. [Crossref]
  34. Marques, M. D.; Dias, L. S.; Educação ambiental A interdisciplinaridade para mudanças de intelecto, hábitos e comportamentos. In: SEOLIN DIAS, L. (Org.). Educação ambiental em foco. 1ª ed. Tupã: Associação Amigos da Natureza - ANAP, **2014**, *1*, 133.
  35. Oliveira, R. V. B.; Ferreira, C. I.; Peixoto, L. J. F.; Bianchi, O.; Silva, P. A.; Demori, R.; Silva, R. P.; Veronese, V. B.; Mistura polipropileno/poliestireno: um exemplo da relação processamento-estrutura-propriedade no ensino de polímeros. *Polímeros* **2013**, *23*, 91. [Crossref]