

Aproveitamento da casca de café como fonte de energia: incentivando a consciência ambiental com o ensino de Química

Rafaela da Silva Resende, Raphael Henrique da Silva e Fábio Minoru Yamaji

O estudo de alternativas para lidar com resíduos agrícolas descartados desempenha um papel fundamental na promoção de práticas de gestão mais sustentáveis. Este artigo teve como objetivo caracterizar a casca do café, verificando seu potencial como combustível sólido renovável. O estudo contribuirá na conscientização dos alunos para utilizarem subprodutos do café como fonte de conhecimento e inovação. A casca do café foi obtida numa fazenda de Minas Gerais. A caracterização do material foi por teor de umidade, poder calorífico e análise química imediata (teores de carbono, cinzas e voláteis). Os resultados mostraram que a casca do café tem alto poder calorífico (18.420 J/g), validando a escolha da biomassa para fins energéticos. A preparação do material e as análises para a caracterização do material promovem um enriquecimento do ensino de química com o tema, possibilitando uma visão holística da ciência e seu papel na construção de um futuro consciente e responsável.

► café, energia renovável, termoquímica ◀

Recebido em 04/06/2024; aceito em 14/11/2024

Introdução

O café é uma das bebidas mais populares e *commodities* mais negociadas em todo o mundo. Sua origem exata é incerta, entretanto há registros históricos que comprovam que o cultivo do café teve início na Etiópia. No Brasil, as primeiras mudas chegaram em 1727, vindas da Guiana Francesa, e foi no Sudeste que a produção começou a tomar grandes proporções (Conselho Nacional do Café, 2021).

Diante do cenário inicial, a tecnologia utilizada na transformação do grão de café não pode ser vista apenas como uma aplicação de conhecimentos científicos, pois está profundamente enraizada em contextos históricos, econômicos e sociais que moldaram a técnica e o Brasil. Desde o uso de mão de obra escrava para expandir as plantações, onde o valor estava não apenas na terra, mas nos cafezais e nas florestas a serem derrubadas, até o trabalho árduo e precário dos ensacadores afro-brasileiros nos portos, a produção do café sempre esteve ligada a dinâmicas de exploração e

desigualdade social (Ribeiro, 2006; Cicalo, 2015). Esses aspectos evidenciam que o processo de transformação do café não é apenas um exemplo de ciência aplicada, mas também uma manifestação das relações de poder e economia que permeiam a sociedade.

Em consonância a isso, em 1850 o Brasil já era o maior produtor global de café, detendo 40% da produção mundial (Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023). A cafeicultura foi fundamental para a economia do Brasil ao longo dos séculos, gerando empregos e contribuindo significativamente para o PIB (Conselho Nacional do Café, 2021).

A estimativa para a safra de café em 2024 aponta para uma produção de 54,94 milhões de sacas de café beneficiado. A safra colhida em 2022 foi de 50,9 milhões de sacas (CONAB, 2023). De acordo com o Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (Cecafé), até 2030, a projeção é de que a demanda mundial de café no período tenha um crescimento médio anual próximo de 2%, o que elevará as atuais 169 milhões de sacas para aproximadamente 209 milhões.

Desde o uso de mão de obra escrava para expandir as plantações, onde o valor estava não apenas na terra, mas nos cafezais e nas florestas a serem derrubadas, até o trabalho árduo e precário dos ensacadores afro-brasileiros nos portos, a produção do café sempre esteve ligada a dinâmicas de exploração e desigualdade social



A produção de café tem início com a colheita dos frutos, que, após o processamento por via seca ou úmida, resulta no café verde, a forma padronizada para comercialização, com raízes históricas. A produção industrial do café também gera subprodutos significativos como a casca (Neacsu e Gheorghe, 2022). No processo de beneficiamento do café, para cada 1 kg de frutos colhidos, são gerados cerca de 0,18 kg de cascas.

Uma alternativa de uso sustentável para esse resíduo seria para fins energéticos. A energia oriunda da biomassa residual é considerada umas das principais alternativas para substituir a dependência dos combustíveis fósseis globalmente (Bernardo *et al.*, 2022). A sociedade moderna e ecologicamente orientada atribui grande importância à redução de resíduos, por isso faz sentido não descartar os subprodutos da produção de café e trazê-los para a cadeia de valor (Neacsu e Gheorghe, 2022).

Na combustão direta, a biomassa é queimada em fornos, caldeiras ou fogões fornecendo a fonte de carbono (C) necessária para reagir com o oxigênio e gerar calor (Costa e Altoé, 2022).

A casca de café deve ser devidamente gerenciada, a fim de não promover nenhum impacto e desequilíbrio ambiental. A conversão da biomassa em energia térmica e/ou elétrica pode ser feita por meio da combustão direta, entretanto uma das razões para o baixo uso da casca de café como combustível para combustão direta é a falta de informações suficientes sobre as características de combustão e emissão desses resíduos.

Esse contexto tem uma conexão com o ensino de química, especialmente no campo da sustentabilidade ambiental e

conscientização sobre alternativas energéticas, adentrando a educação com enfoque em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Com a crescente preocupação com o aquecimento global, a escassez de recursos naturais e a necessidade de redução de resíduos, torna-se vital que o tema da biomassa residual e seu potencial energético seja concatenado aos currículos educacionais.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), existem competências a serem trabalhadas no ensino médio, e o presente estudo se comunica com aproximadamente três habilidades previstas no projeto, sendo elas: Competência 1- EM13CNT101; Competências 3- EM13CNT307 e EM13CNT309, dispostas no Quadro 1.

De forma conectada, as três competências compartilham uma preocupação com o desenvolvimento sustentável, a utilização consciente dos recursos naturais e a busca por soluções tecnológicas inovadoras que promovam a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida. Eles enfatizam a necessidade de analisar, compreender e aplicar conhecimentos científicos em diferentes áreas para enfrentar os desafios

atuais relacionados à energia, materiais e meio ambiente. A abordagem integrada desses temas pode contribuir para a formação de uma sociedade mais consciente e responsável, capaz de tomar decisões informadas e construir um futuro sustentável.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as substâncias que são produtos da decomposição térmica da casca do café e tratar de conceitos como teor de C, teor de voláteis, cinzas e poder calorífico,

com possíveis adequações para o ensino de termoquímica no ensino médio, fornecendo uma adaptação prática e acessível para o ambiente escolar, onde a utilização de equipamentos

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as substâncias que são produtos da decomposição térmica da casca do café e tratar de conceitos como teor de C, teor de voláteis, cinzas e poder calorífico, com possíveis adequações para o ensino de termoquímica no ensino médio, fornecendo uma adaptação prática e acessível para o ambiente escolar, onde a utilização de equipamentos de laboratórios sofisticados muitas vezes não é viável.

Quadro 1: Habilidades específicas das competências 1 e 3 das Ciências da Natureza na BNCC.

Competência	Habilidade	Conceitualização
1	EM13CNT101	Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.
2	EM13CNT307	Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.
3	EM13CNT309	Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais

Fonte: Base Nacional Comum Curricular EM, pgs. 555 - 559 - 560 (2018), adaptado pelo autor.

de laboratórios sofisticados muitas vezes não é viável. Analisar se os resultados encontrados caracterizam a casca de café como um bom combustível renovável, evidenciando uma potencial utilidade para uma sociedade sustentável. Ainda, poder enriquecer o ensino de química no ensino médio, buscando ampliar o repertório de aplicações benéficas dessa ciência para a sociedade. Essa abordagem visa capacitar os alunos para se tornarem agentes multiplicadores deste conhecimento, compartilhando-o de forma significativa com a comunidade, após visualizarem que o conteúdo estudado se replica fora da sala de aula. Ao destacar o potencial da química em resolver desafios reais e promover o desenvolvimento sustentável, os estudantes serão incentivados a compreender a importância dessa disciplina no contexto social e ambiental, tornando-se protagonistas na busca por soluções positivas e conscientes para os problemas do mundo contemporâneo.

Materiais e métodos

Caracterização do material

Foram coletados 5 kg de casca de café no interior de Minas Gerais. Inicialmente, a casca foi triturada em partículas menores que 1,70 mm em um moinho de facas tipo Willey Marconi MA 340. As análises seguiram os procedimentos descritos por Nakashima *et al.* (2017). Para a aplicação no ensino médio, recomenda-se a utilização da borra do café, considerando que a casca pode não ser facilmente encontrada. Além disso, a borra já apresenta partículas com tamanho adequado, eliminando a necessidade da etapa de trituração, o que simplifica o processo experimental sem comprometer a eficácia da atividade.

Teor de umidade total

Para a determinação do teor de umidade o material foi pesado e levado à uma estufa com ventilação de ar forçada a 100°C até atingir massa constante, seguindo a norma ASTM E871-82 (2013). Para a adaptação escolar, pode-se utilizar uma balança digital e um forno elétrico com controle de temperatura. A utilização de borra de café com diferentes umidades pode ser uma boa estratégia para analisar o quanto a umidade afeta no potencial energético do material. A umidade em base seca foi determinada de acordo com a equação 1.

$$U = ((P_u - P_s) / P_s) \times 100 \quad (1)$$

em que: U= Umidade em base seca (%); P_u= Peso úmido (g); P_s= Peso seco (g)

Poder calorífico

O poder calorífico superior (PCS) mede a quantidade total de energia liberada durante a completa combustão do resíduo. Foi obtido em duplicata com 1,0 g de material previamente seco em estufa. Foi utilizada uma bomba calorimétrica IKA C200 e o procedimento foi baseado na norma ASTM D2015:2000.

Para efeitos didáticos, a determinação do poder calorífico (sem uma bomba calorimétrica na escola) pode ser em um calorímetro caseiro feito de lata, recortando uma folha de zinco (30x24 cm), fazendo furos para entrada de ar e moldando-a em um cilindro (latinhas de refrigerante). Utiliza-se uma lata como reservatório de água. O combustível (borra de café) é depositado em uma tela metálica. Mede-se a massa da biomassa e da água, e depois a água é colocada no reservatório e a temperatura inicial é registrada. Acende-se o combustível, posiciona-se o calorímetro e monitora-se a temperatura da água até a combustão terminar. É possível repetir o processo descartando a água usada, quantas vezes forem necessárias.

Análise imediata

Os teores de cinzas, voláteis e carbono fixo foram determinados em duplicata, utilizando 1,00g do material triturado, conforme metodologia prescrita na norma ISO 1171. A determinação do teor de materiais voláteis realizada nos resíduos previamente secos de acordo com a equação 2.

$$TMV = (m_2 - m_3) / (m_2 - m_0) \times 100 \quad (2)$$

em que: TMV = Teor de materiais voláteis, % m₀ = Massa do cadinho seco, m₂ = Massa do cadinho + massa da biomassa, m₃ = Massa do cadinho + massa da biomassa após mufla

O teor de cinzas foi calculado de acordo com a equação 3.

$$TCz = ((M_{ac} - M_{cad}) / (M_{as})) \times 100 \quad (3)$$

em que: TCz = Teor de cinzas, %, M_{ac} = Peso das cinzas + peso do cadinho, M_{cad} = Peso do cadinho, M_{as} = Peso da amostra seca

O teor de C fixo foi calculado pela diferença entre os valores do teor de materiais voláteis e o de cinzas de acordo com a equação 4.

$$TCF = 100 - (TMV + TCz) \quad (4)$$

em que: TCF = Teor de carbono fixo, % TMV = Teor de material volátil, % TCz = Teor de cinzas, %

MEV/EDS

Para a obtenção de análises elementares foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura/espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS), da marca Hitachi, modelo TM3000. Para isso foram utilizadas as cinzas das amostras, coletadas após a realização da queima em mufla.

Para escolas sem acesso a um microscópio eletrônico de varredura, imagens de MEV de publicações acadêmicas podem ser usadas para mostrar aos alunos a estrutura microscópica das cinzas, discutindo como a análise elementar pode ser usada para entender a composição das cinzas e sua aplicação como fertilizante, por exemplo.

Teor de umidade

A umidade pode afetar substancialmente o poder calorífico (Saha *et al.*, 2017). O alto teor de umidade faz com que a combustão, quando comparada com a amostra seca, seja menos energética. O valor da umidade (base seca) encontrado na casca de café foi de 13,90%, próximo a valores encontrados em literatura (10-11%). O valor encontrado pode ser considerado de baixa umidade (Gillespie *et al.*, 2013; Saenger *et al.*, 2001). Um teor de umidade comumente aceito para biomassa é de 10-20%, mas não mais que 40-50%, porque uma parte dele participa da reação de combustão (Neacsu e Gheorghe, 2022).

A escassez de umidade nas cascas de café é resultado do processo de secagem da cereja do café antes da separação dos grãos de café. Esse baixo teor de umidade desempenha um papel crucial na queima das cascas de café (Saenger *et al.*, 2001).

Podemos definir como três os estágios de combustão: o tempo de ignição, a queima volátil e a queima de carvão. O efeito do teor de umidade nos estágios de combustão é mais evidente no tempo de ignição, devido à presença de mais água, que precisa ser seca primeiro para que a desvolatilização se inicie. (Orang e Tran, 2015).

Poder calorífico

O valor do poder calorífico encontrado foi de 18.420 J/g. Uma biomassa com alto poder calorífico resulta em uma combustão eficiente e produz mais calor por unidade de massa, o que é desejável em sistemas de combustão direta. Na literatura, os valores encontrados ficaram entre 18.170 J/g e 18.200 J/g (Saenger *et al.*, 2001; Lima, 2018; Lima *et al.*, 2019).

Quando comparada a outras biomassas, a casca de café apresenta vantagem significativa, visto que possui um alto valor de poder calorífico, tornando-se assim uma excelente opção como combustível (Lima, 2018).

Análise imediata

A fração volátil, um elemento essencial dos combustíveis sólidos, é utilizada para avaliar atributos de combustão. De acordo com informações provenientes da literatura, um elevado teor de matéria volátil (entre 70% e 86%) melhora a eficiência da queima da biomassa durante a fase de desvolatilização. Em contrapartida, uma fração volátil reduzida resulta em elevada emissão de fumaça durante a combustão incompleta e libera gases tóxicos (Neacsu e Gheorghe, 2022). Como observado na Tabela 1, o teor de voláteis da casca de café pode ser considerado elevado, gerando valor energético para o material.

Tabela 1: Resultados da Análise Imediata

Teor	(%)
Voláteis	74,35
Cinzas	7,52
Carbono Fixo	18,13

Fonte: Aatoria própria

A composição de cinzas é igualmente uma característica crucial da biomassa, pois tem impacto na eficácia da queima e pode resultar em desafios de manutenção em queimadores e sistemas de transferência de calor. Estudos indicaram que a quantidade de cinzas está inversamente relacionada ao poder calorífico da biomassa (Everard *et al.*, 2012).

Conforme as indicações de Mande (2009), é aconselhável que o conteúdo de cinzas presentes nas biomassas seja mantido abaixo de 4%, a fim de reduzir ao mínimo a corrosão, o desgaste e a formação de incrustações nos equipamentos, facilitando, assim, a sua manutenção.

O teor de cinzas encontrado (7,52) pode ser considerado alto e trazer um gasto maior em investimentos no equipamento para controle de emissão de partículas. Essa quantidade de cinzas pode ser dada à grande quantidade de sujeira, como areia, presente no material. Frequentemente, o maior teor de cinzas implica maior nível de compostos inorgânicos, que podem atuar como efeito catalítico no processo de conversão térmica geral (Titiloye *et al.*, 2013).

A biomassa compreende compostos resultantes dos processos de fotossíntese e devido ao seu teor de carbono pode produzir energia por calor ou processos químicos (Ungureanu *et al.*, 2018). O conhecimento do teor de carbono pode ser usado para aumentar a eficiência da combustão e minimizar as emissões (Everard *et al.*, 2012).

O teor de carbono fixo, geralmente é proporcional ao poder calorífico do combustível (Cieslinski, 2014). O resultado encontrado para a casca de café indica que uma baixa quantidade de energia será requerida para sua queima. O valor identificado é pouco menos que o encontrado em literatura (20,05%) (Lima *et al.*, 2019).

MEVS/EDS

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é capaz de produzir imagens de alta ampliação e resolução (Figura 1). As imagens fornecidas pelo MEV possuem um caráter virtual, pois o que é visualizado no monitor do aparelho é a transcodificação da energia emitida pelos elétrons. Já o EDS (*energy dispersive x-ray detector*) mede essa energia associada ao elétron. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais elementos estão presentes

A biomassa compreende compostos resultantes dos processos de fotossíntese e devido ao seu teor de carbono pode produzir energia por calor ou processos químicos (Ungureanu *et al.*, 2018). O conhecimento do teor de carbono pode ser usado para aumentar a eficiência da combustão e minimizar as emissões (Everard *et al.*, 2012).

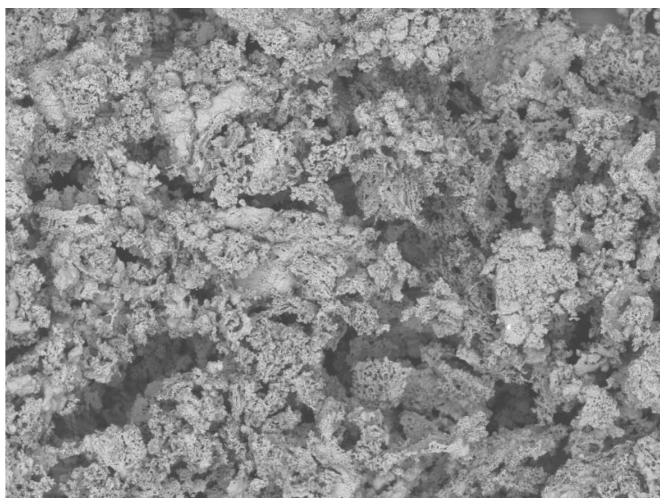


Figura 1: Imagem da Microscopia Eletrônica de Varredura da casca de café com aumento de 100x. Fonte: Autoria própria

naquele local e assim identificar os elementos presentes na amostra (LMic - UFMG, 2023).

As cinzas são compostas por diversos minerais (Tabela 2). Ao analisarmos a composição química das cinzas, 97,73% dela se concentra em quatro principais elementos, oxigênio (O), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os outros 2,27% dos elementos se dividem entre fósforo (P), enxofre (S), silício (Si) e sódio (Na).

Tabela 2: Composição química das cinzas de casca de café

Elemento	(%)
Oxigênio (O)	49,9
Potássio (K)	40,6
Cálcio (Ca)	5,83
Magnésio (Mg)	1,4
Outros	2,27

Fonte: Autoria própria

O alto teor de potássio explica o teor mais elevado de cinzas encontrado uma vez que este elemento reage facilmente com outros, como o silício, formando álcalis com baixo ponto de fusão (aproximadamente 700%). O aumento do teor de potássio, portanto, é desfavorável para a combustão energética já que pode levar ao potencial de formação de impurezas nos fornos (Zajac *et al.*, 2018).

Entretanto, o alto teor de potássio torna viável a utilização da casca de café como adubo orgânico, uma vez que ele é um macronutriente importante para as

plantas. O retorno das cinzas da combustão da biomassa para o solo é o método de disposição mais ecológico e sustentável. Dessa forma, parte significativa dos macro e micronutrientes levados pelas plantas volta para o solo (Zajac *et al.*, 2018).

Termoquímica e uma análise de conexões

No que diz respeito ao ensino de química, é evidente que os estudantes frequentemente enfrentam dificuldades para construir conhecimento, uma vez que existem impasses em relacionar o material estudado com sua vida diária. Como resultado, acabam perdendo o interesse no assunto. Esse cenário sugere que a abordagem pedagógica empregada está desvinculada da realidade dos alunos e não promove a integração interdisciplinar (Nunes e Adorni, 2010).

O ensino de Química nas escolas deve ser abordado de forma contextualizada. Diversas experiências demonstram que as abordagens dos conteúdos químicos vão além de uma visão restrita, sendo fundamental estabelecer conexões entre teoria e prática. É importante promover um ensino que relacione os conceitos químicos com situações reais, permitindo aos alunos compreenderem a aplicação dos conhecimentos estudados no mundo ao seu redor (Brasil, 2008).

As habilidades das competências 1 e 3, EM13CNT101 e EM13CNT309, respectivamente, estão dentro do estudo da termoquímica, um ramo da química que estuda processos que absorvem ou liberam energia na forma de calor, no qual frequentemente os alunos encontram obstáculos persistentes, como os relacionados com as variações de temperatura em processos endotérmicos e exotérmicos, além de outros desafios relacionados às energias cinética, combustão e potencial das partículas (Barros, 2009).

Kunzler *et al.* (2019) conduziram uma pesquisa em cinco revistas científicas brasileiras, com o objetivo de analisar a quantidade de publicações relacionadas ao tema “Termoquímica”. A investigação revelou que esse conteúdo é tratado de forma superficial no Ensino Médio. Mesmo quando os professores tentam adotar abordagens não tradicionais, enfrentam dificuldades em encontrar artigos que

possam auxiliá-los na abordagem desse tema.

Neste contexto, é possível realizar uma conexão entre o presente estudo e o estudo realizado em sala de aula. A compreensão de que a combustão da casca do café só ocorreu por conta da existência de átomos de C em sua composição, que ao reagir com átomos de oxigênio e calor, produz-se dióxido de carbono (CO₂), faz conexão com o estudo de entalpia de combustão. Além de que, o teor de umidade calculado pode ser explicado pela quantidade de água em forma de vapor (H₂O)

como produto, uma vez que com o estudo de combustão,

As habilidades das competências 1 e 3, EM13CNT101 e EM13CNT309, respectivamente, estão dentro do estudo da termoquímica, um ramo da química que estuda processos que absorvem ou liberam energia na forma de calor, no qual frequentemente os alunos encontram obstáculos persistentes, como os relacionados com as variações de temperatura em processos endotérmicos e exotérmicos, além de outros desafios relacionados às energias cinética, combustão e potencial das partículas (Barros, 2009).

o aluno precisa visualizar que na combustão completa de combustíveis formados por carbono e hidrogênio, são gerados CO₂ e H₂O, permeando assim, todo o conteúdo entalpia de combustão.

Além disso, o valor do poder calorífico encontrado foi de 18.420 J/g, e uma biomassa com alto poder calorífico resulta em uma combustão eficiente e produz mais calor por unidade de massa, o conceito de termoquímica, e seus cálculos de entalpia podem ser aplicados aqui.

Por meio da análise realizada com o MEV/EDS foi possível identificar a composição química dos elementos das cinzas da casca do café, após a reação de combustão. O estudo pode contribuir para a habilidade EM13CNT307, na qual o aluno é convidado a analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações e/ou propor soluções seguras e sustentáveis. Por exemplo, destinar as cinzas para o uso na agricultura como fertilizante, já que seu elevado teor de potássio possibilita que a casca de café sirva como adubo orgânico.

O enriquecimento do ensino de química com o estudo de subprodutos do café como fonte de biocombustível pode capacitar os alunos a se tornarem agentes multiplicadores deste conhecimento, compartilhando-o de forma significativa com a comunidade. Ao ressaltar o potencial da química para resolver desafios reais e promover o desenvolvimento sustentável, os estudantes serão incentivados a compreender a

importância dessa disciplina no contexto social e ambiental, tornando-se protagonistas na busca por soluções positivas para os problemas atuais.

Considerações finais

Os resultados da análise do material foram positivos e apresentaram semelhanças com referências da literatura, validando a escolha da casca do café para fins energéticos.

A interseção entre o estudo da casca ou borra de café e o ensino de química demonstra uma abordagem integrada e inovadora na formação dos alunos, preparando-os para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo de maneira consciente, crítica e responsável.

Abraçando a diversidade e complexidade dos temas, a educação pode proporcionar uma visão holística do papel da ciência na construção de um futuro sustentável, na qual o café não só representa uma *commodity* importante, mas também uma fonte valiosa de

conhecimento e inovação para a sociedade como um todo.

O enriquecimento do ensino de química com o estudo de subprodutos do café como fonte de biocombustível pode capacitar os alunos a se tornarem agentes multiplicadores deste conhecimento, compartilhando-o de forma significativa com a comunidade. Ao ressaltar o potencial da química para resolver desafios reais e promover o desenvolvimento sustentável, os estudantes serão incentivados a compreender a importância dessa disciplina no contexto social e ambiental, tornando-se protagonistas na busca por soluções positivas para os problemas atuais.

Rafaela da Silva Resende (rresende@estudante.ufscar.br) é bacharel em Engenharia Florestal e mestranda em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, ambas pela UFSCar. **Raphael Henrique da Silva** (raphael.henrique@estudante.ufscar.br) é licenciado em Ciências Biológicas e mestrando em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental, ambos pela UFSCar. **Fábio Minoru Yamaji** (fmyamaji@ufscar.br) é doutor em Engenharia Florestal pela UFPR. Atualmente é professor titular da UFSCar e líder do grupo de pesquisa Biomassa e Bioenergia.

Referências

BARROS, H. L. C. Processos endotérmicos e exotérmicos: uma visão atômico molecular. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 4, 2009.

BERNARDO, A. P.; DELATORRE, F. M.; SERRA, J. C.; JÚNIOR, A. F. D. e SILVA, A. M. Oportunidades e desafios do uso de biomassa compactada para fins energéticos. *Biomassa: recursos, aplicações e tecnologias em pesquisas*. Editora Científica Digital, p. 97–114, 2022.

BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Ministério da Educação: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. Orientações Curriculares para o ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. v. 2, p. 135, 2008.

CICALO, A. Campos do pós-abolição: identidades laborais e experiência “negra” entre os trabalhadores do café no Rio de Janeiro (1931-1964). *Revista Brasileira de História*, v. 35, n. 69, p. 101–130, 2015.

CIESLINSKI, J. E. F. Estudo da emissão e controle dos gases e particulados provenientes da queima de biomassa. Tese de

Doutorado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4890-primeiro-levantamento-da-safra-2023-de-cafe-indica-uma-producao-de-54-94-milhoes-de-sacas>, acesso em jul. de 2023.

CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ. Disponível em: <https://cncafe.com.br/cafe-do-brasil-historia/>, acesso em jul. de 2023.

COSTA, B. P. e ALTOÉ, L.. Uma análise da biomassa como fonte de energia elétrica e investigação de suas tecnologias. *Bioenergia em revista: diálogos*, v. 2, p. 100-117, 2022.

DA SILVA, S. P.; DA COSTA, A. S. V.; DOS SANTOS, S. L. B. e DE LAIA, M. L. A importância da biomassa na matriz energética brasileira. *Pensar acadêmico*, v. 2, p. 557–583, 2021.

DO VALE, A. T.; GENTIL, L. V.; GONÇALEZ, J. C. e DA COSTA, A. F. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), DUKE. *Cerna*, v. 12, n. 4, p. 416-420, 2007.

EVERARD, C. D.; FAGAN, C. C. e MCDONNELL, K. P. Visible-near infrared spectral sensing coupled with

chemometric analysis as a method for on-line prediction of milled biomass composition pre-pelletising. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 20, n. 3, p. 361–369, 2012.

GILLESPIE, G. D.; EVERARD, C. D.; FAGAN, C. C. e MCDONNELL, K. P. Prediction of quality parameters of biomass pellets from proximate and ultimate analysis. *Fuel*, v. 111, n. Supplement C, p. 771 – 777, 2013.

GUERRA, F.; SANTOS, J. F.; FERREIRA, L. T. e ROCHA, O. C. Cafés do Brasil: Pesquisa, sustentabilidade e inovação. *Tecnologias Poupa-Terra*, 2021.

KUNZLER, K. K.; BEBER, S. Z. C.; KUNZLER, K. R. Aprendizagem significativa dos conceitos de termoquímica: um estudo utilizando mapas conceituais. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 3, 2019.

LMic - Laboratório de Microscopia e Microanálises da Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <https://lmic.degeo.ufop.br/microscopia-eletr%C3%B4nica>, acesso em jul. de 2023.

LIMA, M. J. Determinação da cinética de reação e condições operacionais da pirólise da casca de café em leito fixo. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.

LIMA, M. J.; XAVIER, T. P. e LIRA, T. S. Pirólise da casca de café: caracterização e determinação da cinética de reação. *XXXIX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulares*, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/conheca-a-historia-do-cafe-no-mundo-e-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-exportador-da-bebida>, acesso em jul. de 2023.

NAGAY, J. H. C. Café no Brasil: dois séculos de história. *Formação econômica*, v. 3, p. 17-23, 1999.

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C.S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; EALDMAN, W. R. e YAMAJI, F. M. Materiais lignocelulósicos: caracterização e produção de briquetes. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 150-162, 2017.

NEACSU, A. e GHEORGHE, D. Characterization of Some Co-Fired Agricultural by-products for Energetic Use. *Journal of the Mexican Chemical Society*, v. 66, n. 4, p. 408–420, 2022.

MANDE, S. P. Thermo chemical conversion of biomass. In: KISHORE, V. V. N. (Ed.). *Renewable energy engineering and technology. New Delhi: The Energy and Resources Institute*, 2009.

NUNES, A. S. e ADORNI, D. S. O ensino de química nas escolas da rede pública de ensino fundamental e médio do município de Itapetinga-BA: O olhar dos alunos.. In: *Encontro Dialógico Transdisciplinar - Enditrans*, 2010, Vitória da Conquista, BA. - Educação e conhecimento científico, 2010.

ORANG, N. e TRAN, H. Effect of feedstock moisture content on biomass boiler operation. *Bioenergy*, v. 14, n. 10, 2015.

RIBEIRO, L. C. M.. A invenção como ofício: as máquinas de preparo e benefício do café no século XIX. *Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material*, v. 14, n. 1, p. 121–165, 2006.

SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; WERTHER, J.; OGADA, T. e SIAGI, Z. Combustion of coffee husks. *Renewable Energy*, v. 23, p. 103-121, 2001.

SAHA, U. K.; SONON, L. e KANE, M. Prediction of calorific values, moisture, ash, carbon, nitrogen, and sulfur content of pine tree biomass using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 25, n. 4, p. 242–255, 2017.

SHAKHASHIRI, B. Z. *Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry*. University of Wisconsin Press, 1983.

TITILLOYE, J. O.; ABU BAKAR, M. S. e ODETOYE, T. E. Thermochemical characterisation of agricultural wastes from West Africa. *Industrial Crops and Products*, v. 47, p. 199–203, 2013.

UNGUREANU, N.; VLADUT, V.; VOICU, G.; DINCA, M. N. e ZABAVA, B. S. Influence of biomass moisture content on pellet properties—review. *Engineering for rural development*, 17, 1876-1883.

UNGUREANU, N.; VLADUT, V.; VOICU, G.; DINCA, M. N. e ZABAVA, B. S. Influence of biomass moisture content on pellet properties. *Engineering for rural development*, v. 17, p. 1876-1883, 2018.

ZAJAC, G.; SZYSZLAK-BARGLOWICZ, J.; GOLOBIOWKI, W. e SZCZEPANIK, M. Chemical characteristics of biomass ashes. *Energies*, v. 11, n. 11, 2018.

Abstract: *Using coffee husks as an energy source: encouraging environmental awareness with chemistry teaching.* The study of alternatives for dealing with discarded agricultural waste plays a fundamental role in promoting more sustainable management practices. This article aimed to characterize thermal decomposition products of coffee husks analyzing its potential as a renewable fuel. The study will contribute to raising awareness among students to use coffee by-products as a source of knowledge and innovation. The coffee husk was obtained from a farm in Minas Gerais state. The material was characterized by moisture content, calorific value and proximate chemical analysis (carbon, ash and volatile content). The results showed that coffee husks have a high calorific value (18,420 J/g), validating the choice of biomass for energy purposes. The preparation of the material and the analyzes for the characterization of the material promote an enrichment of chemistry teaching with the topic, enabling a holistic view of science and its role in building a conscious and responsible future.

Keywords: coffee, renewable energy, thermochemistry