UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Química - Campus de Araraquara

ANDRÉ EDUARDO MISTRINI

A QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO TEMA GERADOR: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ENSINO MÉDIO

Araraquara
2025

ANDRÉ EDUARDO MISTRINI

A QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO TEMA GERADOR: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara, para obtenção do título de Licenciado em Química

Orientador: Prof. Dr. Denis Ricardo Martins de Godoi

Coorientador: Me. João Pedro Molina Gil

Araraquara

2025

M678q

Mistrini, André Eduardo

A queima da cana-de-açúcar como tema gerador: uma proposta de sequência de ensino investigativa para o ensino médio / André Eduardo Mistrini. -- Araraquara, 2025

100 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura - Química) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara

Orientador: Denis Ricardo Martins de Godoi

Coorientador: João Pedro Molina Gil

1. Ensino de Química no Colegial. 2. Aprendizagem baseada em problemas. 3. Aprendizagem experimental. 4. Cana-de-açúcar. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

ANDRÉ EDUARDO MISTRINI

A QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO TEMA GERADOR: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA O ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara, para obtenção do título de Licenciado em Química

Data da defesa: 24/11/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
DENIS RICARDO MARTINS DE GODOI
Data: 01/12/2025 16:08:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Denis Ricardo Martins de Godoi
Instituto de Química – UNESP, Araraquara

Documento assinado digitalmente
gov.br
MATHEUS ALMEIDA BAUER ZYTKUEWISZ
Data: 01/12/2025 20:35:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Matheus Almeida Bauer Zytkuewisz
Instituto de Química – UNESP, Araraquara

Documento assinado digitalmente
gov.br
MELANY ISABEL GARCIA NATALE
Data: 01/12/2025 19:57:26-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Me. Melany Isabel Garcia Natale
Instituto de Química – UNESP, Araraquara

Dedico este trabalho à minha família, com todo carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força e pela sabedoria que me acompanharam ao longo de toda esta trajetória acadêmica.

Aos meus pais, por todo amor, apoio e incentivo incondicional, por acreditarem nos meus sonhos e me motivarem a seguir em frente mesmo diante das dificuldades, por compreenderem minhas ausências e celebrar cada conquista comigo.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Química de Araraquara, e a todos os professores do curso de Licenciatura em Química, pela dedicação, paciência e compromisso com a formação docente e científica.

Ao meu orientador, Professor Dr. Denis Ricardo Martins de Godoi, por sua orientação segura, incentivo constante, disponibilidade e pelas valiosas contribuições que tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho. Sua confiança e sensibilidade acadêmica foram fundamentais para o amadurecimento das minhas ideias e para o sucesso deste projeto.

Ao meu coorientador, doutorando João Pedro Molina Gil, por todo apoio, orientação, disposição, tempo, cautela, paciência e por todas as contribuições que tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado durante a graduação, compartilhando estudos, experiências e momentos que tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste sonho. Este trabalho representa não apenas o encerramento de uma etapa, mas o início de uma nova jornada, na qual pretendo continuar aprendendo, ensinando e contribuindo para o ensino de Química com dedicação e propósito.

“Words are, in my not-so-humble opinion, our most inexhaustible source of magic.”
(*As palavras são, na minha nada humilde opinião, nossa fonte mais inesgotável de magia.*) — *As Relíquias da Morte*

(Albus Dumbledore)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a proposição de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) centrada na temática da queima da cana-de-açúcar, explorando os conceitos científicos de combustão e eficiência de combustão, e as consequências socioambientais inerentes a essa prática agrícola por meio de variadas estratégias didático-pedagógicas. Visto que a tradição de ensino de Química é baseada na memorização de conceitos descontextualizados, os pressupostos da Anna Maria Pessoa de Carvalho para elaborar SEIs pode auxiliar na superação desse cenário, promovendo a articulação entre os conceitos científicos de eficiência de combustão e as implicações socioambientais da prática da queimada no contexto regional. A problemática que norteou a pesquisa reside na urgência de um ensino mais crítico, investigativo e interdisciplinar, capaz de conectar o conhecimento químico à realidade e aos desafios ambientais contemporâneos. A escolha da temática justifica-se pela sua relevância socioeconômica e pela complexidade conceitual que abrange, permitindo o desenvolvimento de competências científicas alinhadas à BNCC. A SEI foi estruturada para favorecer o desenvolvimento da autonomia intelectual, da argumentação científica e da capacidade de relacionar fenômenos químicos a problemáticas reais, visando a uma formação crítica e cidadã. Embora a BNCC destaque a importância do ensino por investigação, o documento não apresenta orientações metodológicas concretas para sua aplicação. Suas diretrizes permanecem em nível conceitual, sem indicar estratégias didáticas ou formas de avaliação que orientem o professor. Essa ausência de detalhamento dificulta a efetivação das práticas investigativas e limita o desenvolvimento de uma cultura científica no ensino de Ciências. A metodologia de construção seguiu rigorosamente as cinco etapas do Ensino por Investigação (problematização, resolução, apresentação, sistematização e escrita individual), garantindo a coerência entre os objetivos de aprendizagem e as atividades propostas. A análise teórica da SEI demonstrou que a proposta está em consonância com os princípios do Ensino por Investigação, oferecendo uma questão-problema contextualizada e possibilitando a passagem da ação manipulativa à ação intelectual, com espaço para a autonomia do estudante. As atividades planeadas se mostraram promissoras na integração entre o conhecimento científico e a dimensão social, ao discutir os impactos ambientais, à saúde e na qualidade produtiva decorrentes da queima da cana. Conclui-se, assim, que a SEI possui um significativo potencial educativo para o desenvolvimento do pensamento científico (observação, levantamento de hipóteses e argumentação com base em evidências). Contudo, a pesquisa reconhece a limitação de sua análise ter sido exclusivamente teórica e estrutural, dada a ausência de aplicação prática em sala de aula. Como perspectiva futura, planeja-se a transformação da monografia em um produto educacional, seja por meio de publicação de artigo ou outros métodos e, sobretudo, a aplicação empírica da SEI em contexto escolar, visando investigar a correspondência entre o planeamento e os resultados efetivos de aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino de Química no colegial; Aprendizagem baseados em problemas; Aprendizagem experimental; Cana-de-açúcar.

ABSTRACT

This study aimed to propose an Inquiry-Based Teaching Sequence (IBTS) focused on the theme of sugarcane burning, exploring the scientific concepts of combustion and combustion efficiency, as well as the socio-environmental consequences inherented to this agricultural practice through diverse pedagogical strategies. Considering that Chemistry teaching has traditionally relied on the memorization of decontextualized concepts, the principles proposed by Anna Maria Pessoa de Carvalho for the development of IBTSs may help overcome this limitation by promoting the articulation between scientific concepts of combustion efficiency and the socio-environmental implications of sugarcane burning in regional contexts. The research problem lies in the need for a more critical, investigative, and interdisciplinary approach capable of connecting chemical knowledge to contemporary environmental challenges. The theme was chosen for its socioeconomic relevance and conceptual complexity, enabling the development of scientific competencies aligned with the Brazilian National Common Curricular Base (BNCC). The IBTS was designed to foster intellectual autonomy, scientific argumentation, and the ability to relate chemical phenomena to real-world issues, aiming to promote a more critical and citizen oriented education. Although the BNCC emphasizes the importance of inquiry-based teaching, it lacks concrete methodological guidelines for implementation, which hinders the consolidation of investigative practices and a scientific culture in science education. The proposed sequence followed the five stages of Inquiry-Based Teaching, (problematization, resolution, presentation, systematization, and individual writing), ensuring coherence between learning objectives and proposed activities. The theoretical analysis indicated alignment with inquiry-based principles, providing a contextualized problem and enabling the transition from manipulative to intellectual action, with space for student autonomy. The planned activities show promising in integrating scientific and social dimensions by discussing the environmental, health, and productive impacts of sugarcane burning. In conclusion the IBTS has significant educational potential for developing scientific thinking, (such as observation, hypothesis formulation, and evidence-based argumentation). However, the study acknowledges the limitation of being exclusively theoretical, given the lack of practical classroom application. As a future perspective, me aim to transform this work into an educational product, through academic publication or similar means, and to apply the sequence empirically in a school context to evaluate the correspondence between the proposed planning and actual learning outcomes.

Keywords: Chemistry teaching in high school; Problem-based learning; Experiential learning; Sugarcane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plantio de cana em chamas. 39
Figura 2. Escala colorimétrica para o teste de benedict 44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Graus de liberdade do professor (p) e alunos (a) em atividades experimentais 34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR – Açúcar Redutor

ART – Açúcar Redutor Total

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CF – Constituição Federal

DCN – Diretrizes Curriculares Nacionais

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

MEC – Ministério da Educação

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

SD – Sequência Didática

SEI – Sequência de Ensino Investigativa

STEM – *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática)

Z – Cinzas (fração incombustível do combustível)

ZDP – Zona de Desenvolvimento Proxima

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 12
1. INTRODUÇÃO 14
1.1 ORIENTAÇÕES DA BNCC PARA A EXPERIMENTAÇÃO 15
1.2 EXPERIMENTOS 18
1.2.1 TIPOS DE EXPERIMENTOS 18
1.2.2 EXPERIMENTOS INVESTIGATIVOS 19
1.3 FUNDAMENTAÇÕES QUÍMICAS 22
1.3.1 COMBUSTÃO 22
1.3.2 EFICIÊNCIA DE COMBUSTÃO 24
1.3.3 DEGRADAÇÃO TÉRMICA 25
1.3.4 AÇÚCAR REDUTOR (AR) E TESTE DE BENEDICT 26
2. OBJETIVOS 29
2.1 OBJETIVO GERAL 29
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 29
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 30
3.1 TIPO DE PESQUISA 30
3.2 RELEVÂNCIA DO TÓPICO DO CONHECIMENTO DA SEI 30
3.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA SEI 32
4. RESULTADOS 39
4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL 39
4.2 ANÁLISE DO PRODUTO EDUCACIONAL À LUZ DO REFERENCIAL TEÓRICO 50
5. CONCLUSÃO 62
REFERÊNCIAS 65

APRESENTAÇÃO

Ao ingressar no curso de Licenciatura em Química na UNESP/Araraquara eu tinha a ideia de ser professor, mas não sabia da grandiosidade e da complexidade da profissão. Não me restavam dúvidas sobre minha curiosidade pelas Ciências e pela Educação. No Ensino Médio, junto à minha professora de química realizamos oficinas com os alunos do EF, a partir disso tive certeza de que queria cursar Química na graduação, pois desde pequeno quando eu brincava, eu colocava os óculos de segurança do meu pai e dizia que seria um cientista quando fosse mais velho. Sempre fui interessado na área de ciências exatas e matemática, me envolvia completamente ao realizar pesquisas, cálculos, experimentos. As escolas em que eu estudei sempre me incentivaram muito a estudar, assim como meus pais que me incentivam até hoje. Ao longo da minha jornada escolar sempre admirei meus professores. Ao longo do EM eu estava na igreja, sendo catequista para as crianças e palestrante no grupo de jovens da minha cidade, onde percebi que gostaria de me tornar professor.

Como cresci em uma cidade pequena, e com uma família bem estruturada, meu sonho era ingressar na Universidade, me arrisquei e consegui, mesmo perante a pandemia do Coronavírus, tive a oportunidade de estudar e me dedicar ao vestibular. Quando passei na UNESP em Araraquara, a sensação que prevaleceu foi o medo, mesmo esse sendo um dos meus maiores sonhos. Hoje eu reconheço o quanto essa experiência mudou minha vida, o quanto evoluí como pessoa. Ao iniciar o em curso um lugar que não conhecemos ninguém nunca é fácil, mas eu adorava ir às aulas todas as noites, mesmo com a pandemia em seu auge no meu primeiro ano de curso, isso não me abalou e me fez persistir firmemente no meu sonho de cursar química. Confesso que durante a faculdade nos foram apresentadas matérias bem conturbadas, me lembro de passar noites estudando, acordando com as marcas do livro no rosto, mas no final sempre tudo deu certo.

Por outro lado, sempre tive um interesse enorme por disciplinas práticas. Adorava ir para os laboratórios realizar as práticas e ajudar meus colegas. Foi então que em 2022, no meu segundo ano de faculdade, que eu decidi participar do processo seletivo para o laboratório da empresa em que eu trabalhava e fui aprovado. Essa foi uma experiência completamente enriquecedora para minha formação profissional e acadêmica. Embora estivesse com medo, aproveitei cada segundo e ali na frente, tive certeza que gostaria de estudar cada vez mais, me

especializar, aumentar minha capacidade crítica e meus conhecimentos para que eu pudesse ser um bom profissional. Mudei de serviço e nesse novo laboratório tive uma experiência fantástica também. Foi um ano de muitos aprendizados, aprendi muito sobre a rotina de um laboratório, o preparo de soluções, desenvolvimento e validação de metodologias, operação e manutenção de cromatógrafos.

Nesse período de trabalho no laboratório, tive disciplinas pedagógicas que me ajudaram a enxergar a área com outros olhos e com muita criticidade e tive a oportunidade de desenvolver treinamentos e procedimentos que facilitaram a compreensão dos meus colegas de trabalho nas rotinas laboratoriais. Quando finalizei meu quarto ano, entrei em contato com o professor Denis, a quem eu sempre admirei muito, e pedi para que ele me orientasse no TCC. Após algumas reuniões, tive a certeza que gostaria de fazer parte daquele time e então começamos a desenvolver um projeto, que futuramente se transformou no meu trabalho de conclusão de curso, trata-se de uma sequência de ensino investigativa (SEI), com o tema gerador sendo a cana de açúcar e a cana de açúcar queimada, devido às problemáticas e cenários ocasionados no ano de 2024. Apesar desse cenário atípico em que enfrentamos, sempre mantive muito interesse e motivação para entender os impactos que a cana queimada poderia causar, e por isso decidi ser um profissional qualificado e realizar a pesquisa com muita qualidade e dedicação, e, por isso, decidi desenvolver minhas técnicas e conhecimentos no laboratório, para que em um futuro próximo, possa prestar o processo seletivo do mestrado, e poder contribuir para as pesquisas químicas e no ensino de ciências.

1. INTRODUÇÃO

É necessário que as novas gerações de alunos aprendam a apreciar a ciência, incluindo a química, contribuindo para uma maior valorização do conhecimento científico e para a compreensão dos impactos do avanço da ciência e da tecnologia no mundo. A Química pode ser um instrumento da formação humana que amplia os horizontes culturais e a autonomia no exercício da cidadania. Para isso o conhecimento químico deve ser promovido como um dos meios de interpretar o mundo e intervir na realidade, seja apresentado como ciência, com seus conceitos, métodos e linguagens próprias, e como construção histórica, relacionada ao desenvolvimento tecnológico e aos muitos aspectos da vida em sociedade. (Brasil, 2002, p. 87).

A cidadania, nesse contexto, vai além da participação política formal. No âmbito da química, essa formação cidadã capacita os jovens a entenderem e a se posicionarem diante de questões complexas e prementes, como a poluição ambiental, o desenvolvimento de novos materiais com impactos socioeconômicos, a busca e utilização de fontes de energia renováveis e os avanços na área da saúde. Ao estarem munidos desse conhecimento, os jovens tornam-se aptos a participar de debates informados, contribuindo ativamente para a construção de um futuro melhor para a sociedade. Assim, como argumenta Scheid (2018), aprender química transcende a simples aprovação escolar; é um caminho para preparar cidadãos mais críticos, conscientes e engajados com o mundo ao seu redor. As instituições educativas, enquanto centros de formação cidadã devem, portanto, ter a preocupação intrínseca de possibilitar oportunidades para que o indivíduo, ali presente, desenvolva as capacidades de atuar ativamente na sociedade (Scheid, 2018).

A experimentação ocupou um papel essencial na consolidação das ciências naturais a partir do século XVII, na medida em que as leis formuladas deveriam passar pelo crivo das situações empíricas propostas, dentro de uma lógica sequencial de formulação de hipóteses e verificação de consistência (Giordan, 1999). As aulas experimentais se tornaram fundamentais para as ciências com caráter experimental, como a química, facilitando a compreensão e a construção do conhecimento atribuído.

Apesar de as atividades experimentais estarem há quase 200 anos nos currículos escolares e apresentarem uma ampla variação nos possíveis

planejamentos, nem por isso os professores têm familiaridade com essa estratégia didática. A grande maioria destes laboratórios se traduz em aulas extremamente estruturadas com guias do tipo "receitas de cozinha" e/ou com caráter tecnicista (Carvalho, 2010). Segundo Carvalho (2010), ocorre frequentemente de os alunos seguirem planos de trabalho previamente elaborados, entrando nos laboratórios somente para seguir os passos do guia, e limitada às habilidades técnicas e manipulativas, de forma que os alunos atuam como meros reprodutores de um resultado predefinido. Sob esta abordagem, a experimentação pouco contribui na construção do conhecimento científico, bem como no exercício da cidadania (Santos; Menezes, 2020).

Compreendendo o papel central das aulas experimentais para a motivação, a construção do conhecimento e a autonomia dos estudantes, faz-se necessário analisar como as diretrizes curriculares nacionais orientam essa prática. O próximo item 1.1 abordará, especificamente, as orientações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a inserção e o desenvolvimento da experimentação no ensino de Ciências da Natureza.

1.1 ORIENTAÇÕES DA BNCC PARA A EXPERIMENTAÇÃO

A BNCC, ao traçar diretrizes para o ensino de Ciências da Natureza, expressa a expectativa de que os estudantes possam se apropriar de procedimentos e práticas científicas. Segundo o documento:

> “Espera-se que os estudantes possam se apropriar de procedimentos e práticas das Ciências da Natureza como o aguçamento da curiosidade sobre o mundo, a construção e avaliação de hipóteses, a investigação de situações-problema, a experimentação com coleta e análise de dados mais aprimorados, como também se tornar mais autônomos no uso da linguagem científica e na comunicação desse conhecimento.” (Brasil, 2024, p. 558).

Visto isso, espera-se que essas atividades experimentais possibilitem a argumentação, a construção de conceitos e a vivência de processos científicos, com a oportunidade de os alunos construírem seus próprios conhecimentos. Além disso, busca-se que os alunos possam estabelecer relações entre o que aprendem em sala de aula e seu cotidiano, investigando a presença das ciências em sua vida e, assim, se apropriando dos conceitos químicos e desenvolvendo seus pensamentos críticos. Contudo, apesar das intenções declaradas, o documento da BNCC revela uma

fragilidade significativa: remete docentes e gestores a ideias relativamente complexas, sem um apontamento claro sobre onde obtê-las e em que circunstâncias teóricas elas são admitidas (Silva; Oliveira, 2020).

A BNCC estabelece o 'o quê' ensinar no currículo de Ciências da Natureza, mas é notável a lacuna em suas instruções sobre 'como' os docentes devem conduzir e atribuir experimentos em seus planejamentos. O documento não fornece orientações detalhadas sobre o modo de empregar essa estratégia didática para o desenvolvimento da cidadania dos alunos. Essa ausência de direcionamento prático é agravada na realidade das escolas brasileiras, que enfrentam limitações de infraestrutura e materiais didáticos, dificultando a implementação de atividades experimentais capazes de promover o engajamento e a construção autônoma do conhecimento. Para Silva e Sasseron (2020):

> "[...] o texto como um todo, não revela uma articulação cristalina com a base escolar. Nenhuma seção do documento é dirigida explicitamente a esses atores, ainda que de forma complementar. Nenhum texto que fale diretamente para o estudante, o professor ou para o gestor. Percebemos a falta de uma articulação explícita ou mais sensível com a sala de aula, ou ainda, com as vozes que emergem dela. Talvez a chave esteja nessa falta de empatia, constantemente negligenciada nos processos de escuta para a construção de rumos mais coletivos" (Silva; Sasseron, 2020, p. 19).

Partindo disso, observa-se a fragilidade do documento, isso acarreta um esvaziamento curricular, especialmente no que tange ao debate teórico-conceitual, onde a importância da teoria para a formação dos estudantes tende a ser desacreditada a partir de um parâmetro epistemológico do discurso inovador e transformador da Educação Básica (Malanchen; Santos, 2020). Portanto, a BNCC, ao negligenciar o como e a voz do professor, pode contribuir para o enfraquecimento das bases conceituais que pretende reforçar.

Nesse contexto, a ausência de orientações detalhadas sobre o 'como' implementar a experimentação na BNCC se reflete nos currículos estaduais e pode levar à adoção de práticas pedagógicas limitadas. Sendo assim, os experimentos sugeridos, por exemplo, pelo Currículo Paulista, tendem a enfatizar a confirmação de aspectos teóricos e conceituais que, quando implementados de forma prescritiva, podem não gerar o impacto positivo desejado para a aprendizagem dos estudantes. Ao restringir o foco, corre-se o risco de negligenciar domínios importantes de construção de saberes e de desenvolvimento de competências. Em última análise,

essa abordagem acaba por sobrevalorizar as atividades de memorização, em tarefas destituídas de sentido para os alunos (Sasseron; Carvalho, 2011).

Por fim, a formação cidadã está conectada com a experimentação em química, ou seja, desenvolver um indivíduo que, munido de conhecimento científico, pode se posicionar de forma crítica e ativa na realidade atual, uma realidade que é inegavelmente e cada vez mais altamente tecnológica e científica. A experimentação pode favorecer a compreensão de um problema relacionado ao cotidiano do aluno. Os experimentos podem suscitar no estudante oportunidades de se familiarizar com o processo científico, adquirindo uma percepção diferenciada do "fazer ciência" (Leite, 2018).

Atualmente, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) define algumas competências, nas quais devem ser desenvolvidas pelos alunos durante todos os anos escolares. A soma dessas competências e habilidades descritas pela BNCC permite adaptar os alunos ao atual cenário tecnológico e científico ao fornecer conhecimentos basilares e, assim, possibilitando sua atuação crítica na sociedade Essas competências "visam à formação humana integral e à construção de uma sociedade mais justa, democrática e inclusiva" (Brasil, 2017, p. 4). Ao enfatizar as "habilidades", as "competências", os "procedimentos" e a "formação de atitudes", e não destacar os conteúdos escolares, o trabalho educativo e como ensinar, o documento traz uma perspectiva que visa adaptar os alunos ao mercado de trabalho ou, mais propriamente, ao "empreendedorismo". (Marsiglia *et al.,* 2017). Dessa forma, as futuras gerações estarão à mercê das demandas do mercado, pois os ensinamentos que são expostos e ensinados estão relacionados a um sistema de conhecimentos sistematizados em função das práticas sociais e culturais capitalistas do meio em que esses alunos estão inseridos.

A educação envolvida nesse processo passa a orientar-se pela métrica da competitividade e do rendimento dos futuros profissionais no mundo do trabalho. Assim sendo, o processo formativo, tanto individual quanto institucional, é avaliado a partir de indicadores relacionados às expectativas, disponibilidade, flexibilidade e de produtividade e, portanto, de rendimento profissional para o sistema (Goergen, 2020).

É nesse movimento de busca por estruturas formativas mais significativas que os experimentos investigativos ganham destaque, pois se contrapõem a abordagens meramente instrucionais e instrumentais. Ao promoverem a problematização, o

levantamento de hipóteses e a reflexão crítica, esses experimentos ampliam as possibilidades de aprendizagem, alinhando o processo educativo a uma perspectiva mais humana e investigativa, conforme discutido no tópico a seguir.

1.2 EXPERIMENTOS

A experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamentos de investigação.

1.2.1 TIPOS DE EXPERIMENTOS

A experimentação empírico-indutivista caracteriza-se pela ideia de que a observação direta dos fenômenos leva naturalmente à construção do conhecimento científico. Nesse modelo, o experimento é tomado como ponto de partida absoluto, e acredita-se que os estudantes, ao observarem os resultados, seriam capazes de "descobrir" leis e princípios por indução. Guimarães (2009) problematiza esse tipo de prática ao destacar que a mera observação, sem mediação teórica, dificilmente conduz a aprendizagens significativas, pois a ciência não se desenvolve apenas pela coleta de dados, mas pela interpretação orientada por referenciais conceituais. Assim, embora comum, a experimentação empírico-indutivista tende a reforçar visões ingênuas sobre a natureza da ciência.

A experimentação demonstrativa mantém o protagonismo do professor, que realiza o experimento enquanto os alunos observam. É uma prática útil em situações que exigem controle rigoroso ou quando o experimento envolve riscos, mas limita o engajamento dos estudantes. Como ressalta Guimarães (2009), a participação passiva reduz a oportunidade de desenvolver habilidades investigativas, restringindo a atividade ao ato de ver "algo acontecer" sem necessariamente compreender o processo. Esse tipo de experimentação, apesar de didaticamente simples, pouco contribui para a autonomia cognitiva.

A experimentação ilustrativa tem como objetivo reforçar ou visualizar um conceito teórico previamente ensinado. Nesse modelo, os experimentos funcionam como exemplos concretos utilizados para ajudar na compreensão de fenômenos ou leis químicas, atuando como apoio ao conteúdo. Embora possa facilitar a assimilação, Guimarães (2009) ressalta que esse tipo de prática costuma se limitar à

verificação de ideias já estabelecidas, mantendo o caráter reprodutivo e pouco crítico do ensino tradicional. Assim, seu potencial formativo depende da forma como é articulado à problematização e ao diálogo.

Em sentido mais avançado, a experimentação investigativa propõe maior envolvimento dos estudantes na elaboração de hipóteses, no planejamento de procedimentos, na análise de dados e na interpretação de resultados. Trata-se de uma abordagem que aproxima a prática escolar dos modos de fazer ciência, valorizando a curiosidade, a argumentação e a tomada de decisões. Guimarães (2009) destaca que esse tipo de experimentação favorece aprendizagens mais profundas e promove a compreensão da ciência como processo dinâmico, superando a simples reprodução de técnicas. Nesse caso, o aluno deixa de ser executante para se tornar participante ativo da investigação.

Por fim, a experimentação conceitual e técnica envolvem atividades voltadas ao domínio de procedimentos laboratoriais, manipulação de instrumentos, realização de medições e aplicação de métodos específicos. Embora essencial para a formação prática do estudante, Guimarães (2009) argumenta que, quando realizada de forma mecânica, corre o risco de privilegiar o treino operacional em detrimento da compreensão conceitual. Portanto, seu valor educativo depende de estar integrada a discussões teóricas e reflexões que ajudem o aluno a entender não apenas o “como fazer”, mas também o “por que fazer”. Dessa forma, articula-se a técnica aos significados científicos, promovendo uma aprendizagem mais completa.

1.2.2 EXPERIMENTOS INVESTIGATIVOS

Visando contornar os problemas do ensino roteirizado em atividades laboratoriais e alinhar o processo de ensino-aprendizagem aos pressupostos da BNCC, diversas metodologias de ensino se apresentam como alternativas. Dentre elas, o ensino por investigação com o uso de (SEIs) que são projetadas para permitir que os alunos utilizem seus conhecimentos prévios como ponto de partida para apropriação de novas aprendizagens. Na qual, os estudantes expõem e debatem suas ideias com colegas e o professor, facilitando a transição do conhecimento espontâneo para uma compreensão mais científica.

Essa abordagem engaja ativamente os estudantes no processo científico, desde a formulação de perguntas e hipóteses até a análise e interpretação dos

resultados, promovendo uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos científicos e o desenvolvimento de habilidades essenciais para a formação integral (Carvalho; Sasseron, 2013).

Segundo Deboer (2006), esta metodologia começou a afirmar-se desde o século XIX, ao se debruçar em uma investigação científica por meio de questionamentos e resolução de problemas. Para integrar o ensino de ciências ao currículo, foi preciso apresentá-lo como uma disciplina distinta, que começava com observações que conduziam a princípios gerais. Com isso, os estudantes primeiramente aprendiam como observar o mundo natural e depois tiravam conclusões a partir dessas observações (Deboer, 2006).

Os experimentos investigativos representam um avanço pedagógico ao incentivar a participação ativa dos alunos na construção do conhecimento científico, em contraste com as aulas centradas no professor. Tais atividades promovem não apenas a aprendizagem de conteúdos conceituais, mas também de conteúdos procedimentais, relacionados à própria prática científica. Essas experiências diferem das demonstrações ilustrativas tradicionais, pois exigem dos alunos maior engajamento intelectual (Zômpero; Laburú, 2011).

Nessa abordagem, os alunos têm a oportunidade de discutir, questionar suas hipóteses e ideias iniciais à luz do quadro teórico, coletar e analisar dados para encontrar possíveis soluções para o problema (Suart; Marcondes, 2009). Segundo Suart e Marcondes (2009), pode-se afirmar que as atividades experimentais investigativas podem contribuir para o desenvolvimento de habilidades cognitivas, desde que sejam planejadas e executadas de forma a privilegiar a participação do aluno. Assim, ao participarem dos momentos de uma investigação científica, os alunos podem se envolver na resolução de um problema, trocar ideias com os pares, discutir e testar suas hipóteses, promovendo seu desenvolvimento conceitual, atitudinal e cognitivo, entretanto, sempre orientados pelo professor que, questionando, dialogando e propondo questões, auxilia os alunos na elaboração de suas ideias (Suart; Marcondes, 2009).

O principal referencial teórico para este trabalho é a Sequência de Ensino Investigativo (SEI) proposta pela vasta pesquisa de Anna Maria Pessoa de Carvalho e colaboradores. De acordo com Carvalho (2018), uma SEI é:

> “[…] uma proposta didática que tem por finalidade desenvolver conteúdos ou temas científicos. Este tema é investigado com o uso

> de diferentes atividades investigativas (por exemplo: laboratório aberto, demonstração investigativa, textos históricos, problemas e questões abertas, recursos tecnológicos). Em qualquer dos casos, a diretriz principal de uma atividade investigativa é o cuidado do(a) professor(a) com o grau de liberdade intelectual dado ao aluno e com a elaboração do problema. Estes dois itens são bastante importantes, pois é o problema proposto que irá desencadear o raciocínio dos alunos e sem liberdade intelectual eles não terão coragem de expor seus pensamentos, seus raciocínios e argumentações (Carvalho, 2018)”

A SEI é caracterizada por uma série de etapas bem definidas, que guiam o aluno desde a problematização até a comunicação dos resultados. Na SEI, um "problema" não é uma questão simples que demanda uma resposta única e pré-definida. Pelo contrário, é uma situação-problema autêntica, desafiadora e contextualizada, que instiga a curiosidade dos alunos e os impulsiona a buscar soluções através da investigação. O problema se torna importante em atividades experimentais introdutoras de conceitos ou sistematizadoras de dados que levarão a leis enquanto o aluno procura relações entre outros conceitos já aprendidos, introduz uma nova proposta teórica e outras estruturas científicas que devem ser postas na aprendizagem das Ciências (Carvalho, 2018).

Nesse processo, destaca-se a autonomia no processo de aprendizagem: Ao serem protagonistas da investigação, os alunos desenvolvem a capacidade de planejar, executar e avaliar suas próprias ações, tornando-se mais autônomos e responsáveis pelo seu aprendizado. Isso contrasta com o modelo de "receita de cozinha", onde o aluno é um mero reprodutor (Carvalho, 2010). Além de um outro aspecto fundamental, a alfabetização científica: a ênfase na comunicação escrita e oral dos achados científicos, na argumentação baseada em evidências e na compreensão da natureza da ciência, contribui significativamente para a alfabetização científica dos estudantes (Carvalho; Sasseron, 2012).

Com base nos princípios didático-pedagógicos elencados, esta pesquisa teve como objetivo a produção de uma SEI sobre a queima da cana-de-açúcar. Acredita-se que envolver os alunos em uma SEI poderá favorecer a aprendizagem dos conceitos de combustão e eficiência de combustão, estimulando também a alfabetização científica e o desenvolvimento da autonomia dos estudantes, refletindo os impactos socioambientais e culturais dessa prática agrícola.

Como uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), centrada na temática da queima da cana-de-açúcar, favorece a aprendizagem dos conceitos de combustão e

eficiência de combustão, estimulando a alfabetização científica e o desenvolvimento da autonomia dos estudantes, refletindo os impactos socioambientais e culturais dessa prática agrícola. No Próximo parágrafo serão apresentados os conceitos químicos que serão utilizados para a proposta do trabalho.

1.3 FUNDAMENTAÇÕES QUÍMICAS

A compreensão dos fenômenos químicos que permeiam o tema em estudo constitui um ponto essencial para o desenvolvimento deste trabalho. A Química, enquanto ciência central fornece não apenas a base teórica, mas também conceitual necessária para interpretar e explicar as transformações da matéria em diferentes contextos. Nesse sentido, a presente subseção apresenta os princípios químicos fundamentais que sustentam a elaboração da SEI, abordando conceitos, leis e teorias relevantes para a compreensão do fenômeno em questão.

1.3.1 COMBUSTÃO

A combustão da cana-de-açúcar, especialmente quando realizada por meio da prática da queima da palha, assume um papel central tanto no fornecimento de energia quanto na dinâmica do setor sucroenergético. Esse processo, embora tradicionalmente utilizado como forma de facilitar a colheita manual, está diretamente relacionado à liberação de energia química armazenada nos compostos orgânicos da biomassa, evidenciando sua relevância para a sociedade contemporânea. Esse processo consiste em uma reação química exotérmica que ocorre entre um combustível e um comburente, resultando na liberação de energia na forma de calor e luz, produzindo produtos de combustão como dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) (Carvalho Junior; Mcquay, 2007).

Para que uma reação química ocorra, é necessário que as ligações presentes nas moléculas dos reagentes sejam rompidas, permitindo que átomos e elétrons se reorganizem na formação dos produtos. No caso da combustão da cana-de-açúcar, a oxidação dos principais componentes orgânicos constituídos predominantemente de carbono e hidrogênio, com pequenas quantidades de enxofre e fósforo resultam na liberação de energia química armazenada, acompanhada da formação de dióxido de carbono, vapor d’água e óxidos de enxofre e fósforo. Esse processo evidencia a transformação da energia química da biomassa em calor, sendo fundamental tanto

para o fornecimento de energia quanto para a compreensão dos impactos ambientais associados à prática da queima da palha da cana (Viana; Santos, 2023).

Na combustão, o objetivo é que o poder calorífico atenda às exigências requeridas, com máxima eficiência de conversão e economia, gerando a maior quantidade possível de calor. A íntima mistura do combustível com o ar aumenta a superfície de contato entre ambos e têm influência decisiva na velocidade de combustão. Quanto mais íntima a união dos elementos, melhor a combustão (Bizzo, 2003).

Os combustíveis industriais apresentam em sua composição alguns dos seguintes elementos e substâncias: Hidrogênio (H), Carbono (C), Enxofre (S), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Água (H_2O), além de algumas fases que não sofrem combustão, como cinzas (Z). Para a queima desses combustíveis é necessária a utilização do oxigênio, geralmente fornecido pelo ar atmosférico. O elemento oxigênio está geralmente presente em combustíveis vegetais, sendo que sua presença diminui o poder calorífico dos combustíveis, bem como as exigências teóricas de ar de combustão (Bizzo, 2003).

A combustão é uma reação de oxidação que libera energia na forma de calor e luz. Considera-se que uma combustão é completa quando a substância combustível sofre oxidação total, formando produtos em que seus elementos atingem o estado máximo de oxidação, por exemplo, o carbono é convertido em dióxido de carbono (CO_2) e o hidrogênio em água (H_2O). Para que isso ocorra, é necessário que haja oxigênio em quantidade suficiente para a oxidação completa de todos os elementos combustíveis presentes (Vlassov, 2001).

As reações abaixo representam formas simplificadas do processo de combustão. Esse processo é muito mais complexo, envolvendo múltiplas reações de oxidação e decomposição das substâncias orgânicas que compõem a matriz da biomassa, como carboidratos, lignina e celulose. Assim, o que reage com o oxigênio não são os elementos isolados, mas sim os compostos presentes na palha da cana, cuja queima gera, entre outros produtos, dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água (H_2O) e gases intermediários resultantes de combustões incompletas (Sena, 2010).

$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ $\Delta H_1 = -33900\ kJ\ kg^{-1}$ (25°C, 1 atm) (Eq. 1)

$H_{2(g)} + ½\ O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)}$ $\Delta H_2 = -141800\ kJ\ kg^{-1}$ (25°C, 1 atm) (Eq. 2)

$S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$ $\Delta H_3 = -9200\ kJ\ kg^{-1}$ (25°C, 1 atm) (Eq. 3)

As reações descritas correspondem à uma combustão completa, caracterizada pela disponibilidade suficiente de oxigênio para oxidar integralmente o combustível. Nesse processo, o carbono é convertido em dióxido de carbono (CO_2), o hidrogênio em água (H_2O) e o enxofre em dióxido de enxofre (SO_2), garantindo a liberação máxima de energia química do material.

Em contrapartida a combustão incompleta ocorre quando há uma quantidade de ar menor que a necessária. Neste caso, o hidrogênio e o enxofre são os elementos mais ativos que o carbono. A falta do ar influi sobre a reação da queima do carbono e nos produtos da combustão aparecerá CO (monóxido de carbono) nas reações químicas (Vlassov, 2001).

A reação de combustão incompleta do carbono presente no combustível pode ser descrita segundo, (Carvalho Junior; Mcquay, 2007):

$$C_{(s)} + ½\ O_{2(g)} \rightarrow CO_{(g)} \qquad \Delta H_4 = -23906\ kJ/kg\ (25°C, 1\ atm) \qquad \text{(Eq. 4)}$$

Assim, observa-se que o tipo de combustão depende diretamente da disponibilidade de oxigênio e das condições do processo de queima. Enquanto a combustão completa favorece a liberação máxima de energia e a formação de produtos totalmente oxidados, a incompleta resulta em menor eficiência energética e na emissão de gases poluentes, como o monóxido de carbono (CO). A compreensão dessas diferenças é essencial para analisar os efeitos da queima da palha da cana, tanto do ponto de vista energético quanto ambiental.

1.3.2 EFICIÊNCIA DE COMBUSTÃO

A eficiência de combustão é a capacidade de um processo de oxidar o combustível de forma completa, transformando a maior parte da energia presente no combustível em energia térmica, com mínima formação de subprodutos de combustão incompleta (por exemplo, CO e fuligem). Em outras palavras, quanto mais completa for a oxidação dos elementos químicos presentes no combustível (*e.g.,* carbono e enxofre) em seus produtos finais (CO_2 e SO_2), maior será a eficiência do processo, refletindo-se tanto na obtenção de energia quanto na redução de impactos ambientais.

O poder calorífico de um combustível representa a quantidade total de energia liberada durante sua combustão completa. Ele pode ser expresso de duas

formas: poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). O PCS corresponde à energia total liberada quando toda a água formada na combustão está no estado líquido, ou seja, inclui o calor latente de condensação do vapor d'água presente nos produtos. Já o PCI considera a água no estado gasoso, desconsiderando essa parcela de calor latente.

A diferença entre ambos, portanto, está na entalpia de vaporização da água, tanto aquela formada pela queima do hidrogênio contido no combustível quanto a que já se encontra como umidade. Na prática, utiliza-se mais frequentemente o poder calorífico inferior, pois, na maioria dos processos industriais, os gases de combustão são liberados a altas temperaturas, mantendo a água na fase gasosa e impedindo o aproveitamento do calor de condensação (Garcia, 2002).

Dessa forma, a compreensão da eficiência de combustão e dos conceitos de poder calorífico superior e inferior é fundamental para a análise do desempenho energético de qualquer combustível, incluindo a biomassa. Ao avaliar a completa oxidação dos elementos presentes, assim como a energia efetivamente aproveitada nos processos, torna-se possível aperfeiçoar a conversão de energia, reduzir perdas e minimizar impactos ambientais. Esses conceitos fornecem, portanto, a base teórica necessária para a avaliação crítica e eficiente de sistemas de combustão, orientando tanto estudos acadêmicos quanto aplicações práticas na geração de energia.

1.3.3 DEGRADAÇÃO TÉRMICA

A degradação térmica é um processo químico no qual o aumento da temperatura provoca a quebra das ligações químicas entre os átomos que compõem uma substância, resultando na formação de novos compostos e na liberação de gases e vapores. Esse fenômeno ocorre na ausência ou em quantidade limitada de oxigênio, diferenciando-se da combustão. A ação do calor sobre a madeira, que é um material predominantemente orgânico, implica na sua total degradação. Como consequência, há o surgimento de uma pequena fração residual que é chamada de cinzas, e que corresponde aos elementos minerais minoritários originalmente presentes na madeira. Este fenômeno, que produz o carvão vegetal, é chamado de pirólise ou termodegradação da madeira. (Brito, 1990).

Para a degradação térmica da biomassa, como a proveniente da cana-de-açúcar, ocorre uma série de processos físicos e químicos que transformam a matéria orgânica em diferentes produtos. Entre eles, o carvão vegetal constitui apenas uma

fração do material resultante. Quando sistemas adequados de coleta são empregados, é possível aproveitar os gases condensados, conhecidos como líquidos pirolenhosos, assim como os gases não condensáveis.

Figueroa (2009) diz que a degradação térmica da biomassa ocorre em intervalos de temperatura, sendo que até 200ºC ocorre o processo chamado de pirólise lenta, liberando vapor d'água e gases, onde ocorrem reações exotérmicas de oxidação e mudança na coloração da madeira. Já entre 200 e 280 ºC, ocorre a pirólise rápida, marcada pelo aumento das reações químicas e pela liberação de gases, de forma exotérmica, sem ignição da biomassa. Já na faixa de 280 a 380 ºC há a produção significativa de materiais destilados, como ácido acético e metanol, concomitante à formação do carvão vegetal.

1.3.4 AÇÚCAR REDUTOR (AR) E TESTE DE BENEDICT

Os açúcares redutores são substâncias capazes de reagir com agentes oxidantes suaves, como os íons cúpricos (Cu^{2+}), presentes nas soluções de Fehling e Benedict, estes que são testes para identificação e quantificação de açúcares redutores. Em meio alcalino e sob aquecimento, ocorre uma interação entre o cobre e os grupos funcionais presentes nos açúcares, resultando na formação de um precipitado vermelho de óxido cuproso (Cu_2O) (Hernandez-López *et al.*, 2020). Esse comportamento evidencia a capacidade redutora desses compostos, diretamente relacionada aos processos de oxidação e liberação de energia química, também observados nas reações de combustão e degradação térmica.

A reação apresenta características tanto qualitativas quanto quantitativas. É qualitativa porque permite identificar a presença de açúcares redutores pela simples mudança de coloração da solução, e quantitativa porque essa coloração está associada à concentração de açúcares presentes. Trata-se, portanto, de um teste colorimétrico, no qual a variação da cor indica o grau de redução dos íons cúpricos:

- Azul – ausência ou baixíssima concentração de açúcares redutores;
- Verde – baixa concentração;
- Amarelo a alaranjado – concentração intermediária;
- Vermelho tijolo – alta concentração de açúcares redutores.

Assim como nos processos de combustão e pirólise, em que ocorre a transformação e liberação de energia por meio de reações de oxidação, o teste de

Fehling/Benedict também se fundamenta em um processo de oxirredução. Nessa reação, o açúcar atua como agente redutor, enquanto o íon cúprico (Cu^{2+}) atua como agente oxidante, sendo parcialmente reduzido a Cu^{+}. Essa analogia é didaticamente relevante para o ensino de química, pois permite compreender fenômenos aparentemente distintos, como a queima de biomassa e a oxidação de açúcares.

O Reagente de Benedict ou Teste de Benedict é um reagente químico, comumente utilizado para detectar a presença de açúcares redutores, nos quais se incluem a glicose, entre outros. Reagente de Benedict consiste, basicamente, de uma solução de sulfato cúprico ($CuSO_4$) em meio alcalino, a seguir segundo (Cisternas; Varga; Monte, 2001) detalha-se o preparo da solução:

> Dissolver 85g de citrato de sódio e 50g de carbonato de sódio anidro em cerca de 350 mL de água quente. Dissolver, à parte em 50 mL de água quente, 0.5g de sulfato de cobre cristalizado. Transferir lentamente, com agitação constante, a solução cúprica para a primeira. Completar o volume a 500 mL com água, e filtrar, se necessário (Cisternas; Varga; Monte, 2001).

Em presença de um agente redutor apresenta a coloração castanha devido a formação do óxido cuproso (Cu_2O), conforme a seguinte reação:

$$Cu^{2+}(aq) + 4OH\text{-}\ (aq) + RCHO(aq) \rightarrow Cu_2O(s) + 2\ H_2O(l) \qquad \text{Eq.5}$$

Esse sólido é caracterizado pela coloração vermelho-tijolo também é obtido substituindo-se o hidróxido de sódio diretamente no lugar do carbonato de sódio, e a equação para o processo é análoga à do teste de Fehling.

A liberação de dióxido de carbono e a formação do óxido de cobre(I) vermelho-tijolo (ou próximo a isso) também foram observadas quando o processo é executado com amido e outros carboidratos (Weaver; Foster 1947).

As instruções detalhadas para a elaboração e aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) serão apresentadas de forma mais aprofundada na seção de Metodologia de Pesquisa deste projeto, uma vez que é mais coerente explicar o processo de construção dos experimentos nesta seção.

Na próxima seção, serão apresentados os objetivos geral e específicos deste projeto. A seção seguinte será voltada para a metodologia de pesquisa, evidenciando as orientações da Carvalho sobre como estruturar uma SEI e, também, comentando sobre os tópicos do conhecimento.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Assim, espera-se contribuir para a literatura nacional com esta monografia, que tem como objetivo geral: produzir uma Sequência de Ensino Investigativa centrada na temática da queima da cana-de-açúcar, explorando os conceitos científicos de combustão e eficiência de combustão, e as consequências socioambientais inerentes a essa prática agrícola por meio de variadas estratégias didático-pedagógicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Elaborar uma situação-problema relacionada ao tema da cana-de-açúcar para os alunos explorarem, envolvendo os conceitos de combustão e eficiência de combustão;
b) Estruturar experimentos demonstrativos investigativos para os alunos discutirem, testando os fatores que influenciam uma combustão junto ao professor;
c) Articular a situação-problema e os experimentos investigativos sobre combustão e queima de cana-de-açúcar em uma SEI, interconectando os conceitos científicos à um contexto socioambiental por meio de atividades em sala de aula e em laboratório.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção é dedicada para apresentar o tipo de pesquisa e seu contexto, o desenho e estruturação da SEI.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Esta é uma pesquisa com delineamento não-experimental de caráter qualitativo. Isso se deve pois não há a intenção de mensurar variáveis ou estabelecer relações quantitativas entre fenômenos, mas sim compreender e descrever o processo de concepção de um material didático à luz de referenciais teóricos da área de ensino. Além disso, a pesquisa não foi estruturada com a intenção de aplicar o material em contextos educacionais, de maneira que o estudo concentra-se apenas na produção teórica e metodológica de um planejamento de material didático e na avaliação de suas potencialidades. Assim, a análise privilegia interpretações e reflexões sobre as escolhas didático-pedagógicas realizadas ao longo do desenvolvimento do produto (Moroz; Gianfaldoni, 2006; Malheiros, 2011).

O produto educacional é um material, estratégia ou recurso pedagógico derivado da pesquisa e destinado a intervir em contextos reais de ensino e aprendizagem. Mais do que um anexo ilustrativo, buscando solucionar uma demanda identificada no campo educativo (Farias; Mendonça, 2021).

A elaboração de um produto educacional requer a articulação entre fundamentação teórica, diagnóstico do contexto e processo de criação iterativo, assegurando que o material final seja pertinente, aplicável e passível de validação. Entre as possibilidades de formato estão sequências didáticas, guias didáticos, jogos, objetos digitais, roteiros de aprendizagem, materiais de apoio ao professor ou propostas de intervenção pedagógica.

3.2 RELEVÂNCIA DO TÓPICO DO CONHECIMENTO DA SEI

A assimilação dos princípios que norteiam a combustão assume relevância significativa, visto que estabelece a base para a apropriação de conceitos científicos quanto à reflexão sobre seus desdobramentos na vida cotidiana e no contexto socioambiental. Trata-se de uma reação química em que um combustível e o comburente reagem liberando energia. Nesse cenário, a combustão está presente em múltiplas formas, como geração de energia elétrica pela queima de combustíveis fósseis, motores automotivos, sistemas industriais diversos.

Além disso, embora apresente utilidade e benefícios, a combustão também acarreta impactos ambientais e à saúde humana, por meio da emissão de poluentes e da liberação de gases que afetam a qualidade do ar e contribuem para desafios como mudanças climáticas. É preciso dar especial evidência ao contexto regional: a prática da queima de palha ou mesmo de canaviais (em situações de incêndio) é um fenômeno que envolve diretamente o conceito químico de combustão. No estado produtor cuja colheita de cana-de-açúcar ocupa milhões de hectares, as ocorrências de queimadas em canaviais são concretas. Por exemplo, em 2024 estimou-se que mais de 100 mil hectares de canaviais paulistas foram atingidos por queimadas, com prejuízos econômicos estimados em cerca de R$800 milhões (CNN BRASIL, 2024).

A cada dia, depende-se dela em várias formas, desde a geração de eletricidade através da queima de combustíveis fósseis, até os sistemas de transporte que predominantemente se baseiam em motores de combustão, assim como nas indústrias que empregam equipamentos que operam com esse princípio (Turns, 2013). À medida que a sociedade contemporânea enfrenta desafios relacionados à energia e à sustentabilidade, a combustão, em sua complexidade e em seus impactos ambientais, torna-se um tema de investigação cada vez mais relevante. É essencial reconhecer que a combustão, apesar de seus benefícios, também acarreta impactos significativos para o meio ambiente e para a saúde humana, devido à emissão de poluentes prejudiciais (Coutinho, 2022). Além disso, à medida que a preocupação com as mudanças climáticas e a degradação ambiental se intensifica, a busca por tecnologias de combustão mais eficientes e sustentáveis torna-se uma prioridade global (Coutinho, 2022).

Dentro desse contexto, o presente material assume o papel de instrumento formativo, ao docente, proporcionando, subsídios teóricos e práticos que favorecem a compreensão aprofundada da combustão e de suas implicações no cenário social contemporâneo. Dessa forma, ao trabalhar o tema “queima da cana-de-açúcar” no âmbito da química, os estudantes podem ver de forma direta como os conceitos de combustão se aplicam a uma realidade da sua região. A queima não é apenas um exemplo abstrato, mas um fenômeno que intersecta ao processo químico da combustão, o contexto socioambiental e o cotidiano dos alunos (em regiões produtoras de cana, próxima à colheita, ou em comunidades que sofrem com fumaça). Ao aprender sobre combustão com esse recorte, os estudantes não

apenas ampliam o conhecimento científico, mas ganham um olhar crítico para a prática da queima da cana.

3.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA SEI

A SEI proposta conta com quatro atividades principais para sua execução, sendo elas: I) Situação problema; II) Demonstração investigativa; III) Experimento investigativo (grau II); IV) Jigsaw para finalizar a SD. Com essas atividades sistematizadas em cinco aulas de cinquenta minutos, sendo distribuídas da seguinte maneira, atividade (I) sendo implementada na primeira aula, a atividade (II) na segunda, a atividade (III) nas terceira e quarta aulas, finalizando, a atividade (IV) no fim da quarta aula e na quinta, assim finalizando a quinta aula da sequência didática.

Esta seção apresenta os embasamentos teóricos e metodológicos da SEI com base nos textos escritos por Ana Maria Pessoa de Carvalho (Carvalho; Sasseron, 2010, 2012; Carvalho, 2013, 2018). Carvalho (2013) explica o mecanismo de construção do conhecimento individual a partir da teoria de Piaget. Essa teoria sugere que a aprendizagem ocorre por meio de um processo contínuo de equilibração, desequilibração e reequilibração, indicando que a compreensão de qualquer informação nova sempre se fundamenta no conhecimento preexistente e, assim, adquirindo novos conhecimentos.

Ainda nesse capítulo, destaca-se a contribuição de Vygotsky, que enfatiza a importância da linguagem na construção do conhecimento. Nesse contexto, o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) evidencia que o aprendizado ocorre quando o aluno é apoiado para realizar tarefas que ainda não domina sozinho, mas consegue com auxílio ou mediação. Esse entendimento orienta a elaboração de problemas e atividades, garantindo que estejam conectados aos conteúdos propostos e possibilitem que o estudante construa o conhecimento tanto individualmente quanto socialmente, por meio da interação com colegas e professores.

Carvalho (2013) também descreve os estudos de Bachelard e as suas contribuições para o Ensino por Investigação, “todo conhecimento é a resposta de uma questão”, onde de maneira geral, essa questão deve estar integrada na sua cultura, na realidade e cotidiano do aluno, para que assim eles possam se envolver e buscar uma solução para o problema. Para Bachelard, “ainda faz-se necessário eliminar os obstáculos obtidos pelo caminho, a fim de tornar uma evolução da cultura

experimental, para a experimentação espontânea e por fim uma experimentação científica, para que os alunos reconstruam seus conhecimentos e saberes". (Carvalho, 2013, p. 6).[1]

Originalmente, a SEI foi definida como:

> "[...] Sequências de atividades (aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada atividade é planejada, do ponto de visto do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar com os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores" (Carvalho, 2013, p. 9).

Em uma releitura mais recente, Carvalho (2018) reformulou a definição, buscando maior amplitude, apesar de a primeira proposta já criticar a simples verificação dos conteúdos programáticos. A definição atual de SEI é dada como:

> "[...] uma proposta didática que tem por finalidade desenvolver conteúdos ou temas científicos. Este tema é investigado com o uso de diferentes atividades investigativas (por exemplo: laboratório aberto, demonstração investigativa, textos históricos, problemas e questões abertas, recursos tecnológicos). Em qualquer dos casos, a diretriz principal de uma atividade investigativa é o cuidado do(a) professor(a) com o grau de liberdade intelectual dado ao aluno e com a elaboração do problema" (Carvalho, 2018, p. 767).

Ambas propostas apresentam a elaboração do problema pelo professor, que deve ser adequado para desencadear o raciocínio dos alunos e possibilitar a análise de fenômenos, a determinação de variáveis, o levantamento de hipóteses e a construção de explicações. A principal mudança, destaca a necessidade de o professor gerenciar o grau de liberdade intelectual do aluno, reconhecendo que essa participação deve ser gradativa e orientada, diferentemente da primeira versão, que dava maior ênfase à participação do aluno de forma mais irrestrita.

Por fim, destacam-se alguns elementos essenciais que compõem e estruturam uma SEI. Para Carvalho (2018), qualquer atividade fundamentada no Ensino por Investigação, independentemente de seus objetivos, deve criar um ambiente educacional que incentive a autonomia dos alunos. Partindo para as etapas de construção de uma SEI, utiliza-se Carvalho (2010), sendo assim, deve-se seguir 5 passos, sendo esses: O primeiro passo, segundo Carvalho (2010), consiste

[1] Dada as limitações de uma monografia, as relações entre as teorias de Piaget e Vygotsky, a epistmelogia de Bachelard e a SEI não serão aprofundadas. Para mais detalhes, recomendamos a leitura do capítulo publicado pela Carvalho em seu livro de 2013.

na proposição do problema experimental pelo professor. Nessa etapa, é fundamental que o docente assegure que os alunos compreendam plenamente o problema apresentado, podendo reformulá-lo ou defini-lo quantas vezes forem necessárias, de modo a garantir que todos tenham clareza sobre o objetivo da investigação e possam participar ativamente da construção do conhecimento. Seja em demonstrações em sala ou em atividades de laboratório em grupo, o professor deve interagir para verificar o entendimento, sempre com o cuidado de não oferecer respostas ou dicas que minem o processo investigativo dos estudantes. O objetivo é que os alunos desenvolvam o pensamento autônomo na busca por soluções.

Na segunda etapa, os alunos trabalham em grupos nos laboratórios investigativos, buscando seus próprios caminhos para resolver o problema proposto. Nessa fase, o professor atua como observador, acompanhando o desenvolvimento das investigações e evitando interferir diretamente nas decisões dos estudantes. Nesta etapa, o professor conduz a turma na formulação de hipóteses explicativas para o fenômeno em estudo, incentivando os alunos a preverem possíveis resultados antes da observação. A partir dessas hipóteses, os grupos elaboram procedimentos experimentais que orientam a coleta de dados, definindo materiais, variáveis e formas de registro. Durante a execução, os estudantes observam, registram e analisam os dados obtidos, comparando-os com suas previsões iniciais. O professor atua como mediador, estimulando a reflexão e a argumentação científica, para que a explicação final do fenômeno seja construída de forma colaborativa, com base nas evidências produzidas.

Ainda segundo Carvalho (2010), a terceira etapa, Apresentação e Reflexão dos Alunos, os grupos compartilham com a turma suas ações, hipóteses, procedimentos adotados e resultados obtidos durante a investigação. Esse momento é dedicado à socialização das descobertas, permitindo que os estudantes comparem suas análises e discutam diferentes interpretações para o fenômeno estudado. O professor estimula o diálogo entre os grupos, de modo que os alunos consigam interconectar os dados, os conceitos e as observações produzidas, compreendendo o percurso coletivo da investigação. Embora algumas justificativas e reflexões individuais possam emergir aqui, a sistematização conceitual e teórica será aprofundada na etapa seguinte. Aqui é quando o professor analisa e questiona as evidências dos alunos.

Na quarta etapa, denominada Sistematização dos Conhecimentos, ocorre a busca por explicações causais e a construção conceitual a partir das evidências produzidas. Segundo Carvalho (2010), esse momento exige que o aluno vá além da simples descrição dos resultados, elaborando novos significados e conceitos científicos que deem sentido à realidade investigada. Caso os estudantes ainda não tenham tomado consciência de suas ações e pensamentos na etapa anterior, o professor deve intervir, auxiliando-os a reconhecer as limitações de seus conhecimentos prévios e a perceber a necessidade de novas construções conceituais para solucionar o problema. É nesta fase que o aluno relaciona suas hipóteses, procedimentos e resultados, refletindo sobre como suas ações foram realizadas e por que produziram determinado resultado. Assim, as etapas três e quatro consolidam a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual: na primeira, o estudante age e experimenta; na segunda, interpreta, explica e sistematiza os conceitos que emergem de sua investigação.

Por fim, a quinta etapa consiste na produção individual do relatório, momento em que o estudante registra todo o percurso investigativo. Segundo Carvalho (2010), a escrita atua como uma atividade de argumentação e reflexão, exigindo do aluno um esforço cognitivo que consolida o aprendizado e as habilidades científicas desenvolvidas ao longo do processo. Diferentemente das etapas anteriores, marcadas por discussões orais e uso de linguagem cotidiana, esta fase desafia o estudante a traduzir suas ideias e conclusões para a linguagem científica formal, exercitando a clareza, a precisão conceitual e a coerência argumentativa. Assim, a escrita do relatório representa a síntese intelectual da investigação, na qual o aluno sistematiza e comunica, de forma autônoma, o conhecimento que construiu

Carvalho (2013) explica que, além dos problemas experimentais realizados pelos alunos, as SEIs podem incluir demonstrações investigativas. Nestas, o professor executa o experimento, mas segue as mesmas etapas descritas anteriormente para uma atividade experimental, adaptando as perguntas para envolver os alunos, por exemplo: "Como vocês acham que eu devo fazer?". O ponto crucial, segundo Carvalho (2013), não é a manipulação em si, mas a transição da ação manipulativa para a ação intelectual do estudante. Para isso, o professor deve explorar essa passagem com perguntas como: "O que fizemos para resolver o problema?" e "Por que, ao fazer essas ações, o problema foi solucionado?". Essas

perguntas estimulam o processo argumentativo dos alunos, capacitando-os a construir seu próprio conhecimento de forma mais profunda.

Como a resolução de um problema possui alta demanda cognitiva, Carvalho (2018) propôs escalas de graus de liberdade intelectual relacionados a diferentes tipos de atividades investigativas, sendo que o Quadro 1 contém a escala de graus de liberdade para as atividades experimentais investigativas. A utilização de graus de liberdade intelectual foi uma ferramenta empregada nas SEIs para estimular o desenvolvimento progressivo dos alunos de acordo com seus conhecimentos e habilidades (Carvalho, 2018).

Quadro 1. Graus de liberdade do professor (P) e alunos (A) em atividades experimentais.

	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P/A	P/A	A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P/Classe	A	A
Obtenção de dados	A	A	A/P/Classe	A	A
Conclusões	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe

Fonte: Carvalho, 2018

O Quadro 1 apresenta os cinco graus de liberdade intelectual proposta por Carvalho (2018), de maneira que o grau de liberdade dado ao aluno difere frente a atividade e as orientações que o professor apresenta para as atividades investigativas. Carvalho (2018) aponta que o grau 1 corresponde ao ensino diretivo em que o professor fornece o problema, as hipóteses e todo o procedimento experimental, cabendo aos alunos apenas a etapa de coleta de dados. O grau 2 de liberdade intelectual ainda se caracteriza como ensino diretivo, mas com maior participação dos estudantes; embora as hipóteses e o plano de trabalho sejam elaborados pelo professor, eles são discutidos com os alunos.

A partir do grau 3 de liberdade, segundo Carvalho (2018), o professor passa a atuar como mediador do processo investigativo. Nessa etapa, ele apresenta o problema aos alunos e conduz uma discussão inicial sobre as possíveis hipóteses, mas são os estudantes que devem planejar e realizar os experimentos para testá-las. Já no grau 4, o papel do docente se transforma de forma mais acentuada: ele assume a função de orientador, fornecendo apenas o problema e permitindo que os alunos conduzam integralmente o processo investigativo, desde a formulação das hipóteses até a análise dos resultados. Assim, o professor limita suas intervenções a momentos pontuais de orientação, cuidando para não antecipar respostas nem

restringir a autonomia dos grupos. De acordo com Carvalho (2018), é a partir do grau 3 que se observa efetivamente a consolidação de um ensino por investigação, no qual os alunos se tornam protagonistas da construção do conhecimento científico.

No grau 5 de liberdade intelectual é o que mais se aproxima de uma investigação científica, visto que os alunos escolhem o problema e elaboram todo o processo até sua resolução. No entanto, esse grau é pouco utilizado com estudantes em razão de sua alta complexidade (Carvalho, 2018).

Deve-se também considerar as demonstrações investigativas, que, segundo Carvalho (2013), correspondem a problemas experimentais cuja execução envolve riscos aos alunos. Nesses casos, o professor realiza as manipulações ou demonstrações necessárias, enquanto os estudantes permanecem responsáveis por formular hipóteses, observar os resultados e discutir as explicações para o fenômeno apresentado. Assim, mesmo que a ação experimental seja conduzida pelo docente, mantém-se o caráter investigativo da atividade, pois os alunos continuam engajados nos processos de previsão, observação e análise dos resultados. Assim como Carvalho e colaboradores (2013) apontam:

> Antes de manipular a aparelhagem para resolver o problema, é interessante fazer perguntas do tipo: “Como vocês acham que eu devo fazer?”, de modo a dar tempo para os alunos levantarem hipóteses e indicarem soluções que, então, serão realizadas pelo professor. (Carvalho e colaboradores p.13-14, 2013)

Dessa forma, durante uma demonstração investigativa, o papel do professor é manter o envolvimento ativo dos alunos, conduzindo a observação por meio de perguntas e problematizações que estimulem a formulação de hipóteses e a análise crítica do fenômeno. Mesmo sendo o responsável pela execução do experimento, o docente deve favorecer a reflexão e a argumentação dos estudantes, garantindo que o processo preserve sua natureza investigativa e promova a construção coletiva do conhecimento científico.

Dão condições para que eles iniciem o processo argumentativo. Somente depois de proporcionar um período para os alunos pensarem, exporem suas argumentações, e em uma interação discursiva com os alunos, o professor terá a oportunidade de sistematizar o conceito que foi o objetivo do problema. Também na demonstração investigativa deve ser dada oportunidade aos alunos de exporem

individualmente, o que aprenderam por meio *de trabalho escrito e/ou desenhado.* (Carvalho, 2013).

Além disso, focamos em três Situações de Estudo Investigativas (SEI) sobre Calor e Temperatura. Essas SEI, originalmente publicadas em Carvalho et al. (1999) e atualizadas em Carvalho (2014), visavam promover a transição da concepção de calor como fluido (calórico) para o entendimento de calor como transmissão de energia, além de abordar outros conceitos de termologia e calorimetria.

Visto isso, o uso de SEI oferece uma abordagem eficaz para o ensino de conceitos complexos como a combustão e a degradação térmica da cana-de-açúcar. Ao invés de aulas expositivas, as SEIs permitem que os alunos explorem esses fenômenos de forma ativa, investigando, por exemplo, como a liberação de energia, a combustão ou a decomposição da biomassa (degradação térmica) da cana. Essa metodologia não só aprofunda a compreensão dos processos termodinâmicos envolvidos, mas também contextualiza a aprendizagem, conectando-a à importância e consequências socioeconômicas e ambientais da queima da cana-de-açúcar.

A escolha do Ensino por Investigação para os conceitos de combustão térmica e degradação térmica da cana de açúcar deve-se à sua capacidade de aprimorar a aprendizagem em ciências. Essa metodologia conecta os conceitos ao cotidiano, estimulando o interesse e a motivação dos alunos, que, ao buscarem soluções para problemas, constroem ativamente seu próprio conhecimento químico.

Diante do exposto, esses princípios orientaram a construção da Sequência de Ensino Investigativa (SEI) desenvolvida neste trabalho, cujo objetivo é promover a compreensão dos conceitos de combustão e suas implicações socioambientais, articulando teoria e prática no contexto escolar. A próxima seção, Resultados e Discussões, será dedicada à apresentação da SEI elaborada a partir desse referencial teórico, bem como à análise reflexiva de suas potencialidades e limitações frente aos pressupostos de Carvalho.

4. RESULTADOS

Apresenta-se na presente seção a proposta e estruturação de uma Sequência de Ensino Investigativa com o tema gerador a respeito da queima da cana-de-açúcar. Essa SEI foi desenvolvida com base no referencial teórico de Carvalho e colaboradores e visa abordar os conceitos químicos de combustão, eficiência de combustão, degradação térmica e açúcar redutor. Cabe aqui destacar que a presente pesquisa não envolveu a aplicação prática da sequência didática, configurando-se, como uma etapa de concepção e validação teórica de um produto educacional.

A seção será subdividida em dois tópicos: o primeiro dedica-se à apresentação do produto desenvolvido, isto é, a Sequência de Ensino Investigativa (SEI) composta por quatro aulas que exploram, de forma progressiva, os conceitos de combustão, eficiência e impactos socioambientais da queima da cana-de-açúcar, articulando conteúdos químicos, ambientais e sociais. O segundo tópico destina-se à análise da SEI, fundamentada no referencial teórico de Carvalho, que compreende o Ensino por Investigação como uma prática voltada à formação do pensamento científico e ao desenvolvimento da autonomia intelectual dos estudantes.

Ainda que o produto não tenha sido aplicado em ambiente educacional, sua estrutura teórico-metodológica foi avaliada quanto à pertinência das atividades e aos princípios do ensino investigativo. Com base em Farias e Mendonça (2021), considera-se que a pesquisa atingiu a etapa de concepção efetiva de uma proposta de produto educacional, entendendo que, nos programas profissionais, o produto é resultado de um processo reflexivo e projetual, e não apenas de sua aplicação. Dessa forma, mesmo sem a validação empírica, o trabalho alcançou o propósito central de planejar e justificar pedagogicamente uma intervenção didática inovadora, capaz de articular teoria, prática e contexto sociocultural.

4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Nesta seção, será apresentada sucintamente a estruturação da Sequência de Ensino Investigativa desenvolvida para esta pesquisa, a qual se centra na temática da queima da cana-de-açúcar, dando enfoque a aspectos descritivos das aulas que a compõem. A SEI completa, detalhando o problema, as atividades e a progressão didático-pedagógica, bem como seus respectivos planos de aula e materiais de apoio, encontram-se dispostos nos Apêndices I, II, III e IV.

A primeira aula da SEI tem como objetivo introduzir o fenômeno da combustão e contextualizá-lo no cenário da queima da cana-de-açúcar, prática ainda presente em diversas regiões do país. Em poucas palavras, essa aula busca promover o envolvimento ativo dos estudantes, estimulando a curiosidade, o levantamento de hipóteses para o problema e o diálogo entre os conceitos químicos e as questões ambientais e sociais. A aula tem duração estimada de 50 minutos e está organizada em quatro momentos principais: revisão conceitual, apresentação do problema, desenvolvimento em grupos e etapa de fechamento com desafio coletivo.

O professor inicia a aula retomando o conceito de transformações químicas, enfatizando que em uma reação ocorre a conversão dos reagentes em novos produtos, sem que haja perda de matéria. Essa retomada é conduzida a partir da análise de uma reação de combustão, o que possibilita revisar as noções de reagente e produto e, simultaneamente, introduzir os conceitos de combustível e comburente, estabelecendo uma ponte entre o conteúdo químico e o problema central da sequência, que busca compreender as implicações da queima da cana-de-açúcar. Para auxiliar na explicação, o docente utiliza imagens projetadas que ilustram diferentes estados físicos da matéria (sólido, líquido e gasoso) e apresenta um esquema representando a reação de combustão do metano (CH_4), para que já integre com os conceitos que serão apresentados:

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2\,(g)} + 2H_2O_{(l)} \quad \text{Eq.6}$$

A equação é explorada como ponto de partida para discutir a conservação da massa, a formação de novos produtos e a liberação de energia durante as reações. A partir dessa discussão, o professor introduz dois conceitos fundamentais: combustível (substância que reage liberando energia) e comburente (substância que possibilita a reação, geralmente o oxigênio).

Em seguida, o professor apresenta o problema central da aula, formulado na questão: “Para onde vai a energia? O dilema da eficiência na queima da cana-de-açúcar.” Para contextualizar o tema, são exibidas imagens reais de plantações em chamas, com fumaça escura e fuligem visível, acompanhadas de um vídeo curto e/ou notícias - não adicionamos links para estes materiais pois as fontes podem mudar - mostrando a prática da queima antes da colheita. As imagens provocam forte impacto visual, como exemplo da Figura 1, despertando a curiosidade e o incômodo dos alunos, tais exemplos a serem exposto podem ser como:

Figura 1. Plantio de cana em chamas.



Fonte: G1- Globo (https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2024/08/27/incendio-agrava-perdas-na-cana-de-acucar-em-sp-que-sofre-com-seca-desde-abril-queimar-cana-e-queimar-dinheiro-diz-presidente-de-associacao.ghtml)

Por meio de imagens, o professor atua como questionador e conduz uma breve discussão inicial, buscando não apenas respostas prontas, mas a formulação de hipóteses e a expressão das ideias prévias dos estudantes. No caso da Figura 1, o professor pode questionar quais as consequências socioambientais da queimada de plantações e qual a explicação química dessa fumaça escura. Após o momento da problematização, o professor organiza a turma em grupos de 5 a 6 alunos, explicando que cada equipe investigará o fenômeno a partir de textos informativos, estes presentes no Apêndice 1. Todos os grupos analisam o mesmo conjunto de textos, que descrevem diferentes situações de combustão, para fundamentar as discussões. O objetivo é que os alunos identifiquem, a partir das descrições, as diferenças entre os produtos formados, a presença ou ausência de oxigênio suficiente e as implicações ambientais de cada tipo de reação.

Enquanto os grupos realizam a leitura, o professor circula pela sala observando as interações entre os alunos, intervindo sempre que necessário para estimular o diálogo entre os estudantes e aprofundar o raciocínio científico. O docente orienta que cada grupo registre em seu caderno as observações e hipóteses formuladas, especialmente no que se refere às diferenças observadas entre os tipos de combustão e seus efeitos. Após a leitura, cada grupo compartilha suas conclusões, conectando os textos às imagens iniciais da queima da cana.

No encerramento da aula, o professor convida os grupos a comentarem suas observações e hipóteses sobre as diferentes reações analisadas, através de uma

roda de conversa. A partir dessas trocas, o professor retoma as ideias centrais da investigação, reforçando os conceitos de combustão, eficiência da combustão e impactos ambientais decorrentes de reações incompletas. Em seguida, conduz uma reflexão contextualizada, relacionando o que foi observado nos textos com a realidade da queima da cana-de-açúcar. Ele propõe a questão: “Se a queima da cana é ineficiente e polui, por que ainda é realizada?”, incentivando os estudantes a transpor o conhecimento químico para um contexto social e econômico.

A partir dessa pergunta, o docente propõe um desafio onde os alunos façam um brainstorming rápido e tentam responder os seguintes desafios dividido em dois eixos complementares: i) desafio químico que auxilie os alunos a compreender, com base nas discussões, como garantir uma combustão com maior eficiência de combustão; ii) desafio socioambiental que direcione os alunos a uma reflexão sobre quais alternativas sustentáveis poderiam minimizar os efeitos da queima da cana-de-açúcar. Por fim, o professor encerra a aula orientando que os alunos reflitam e levantem hipóteses de quais fatores podem influenciar a eficiência de uma combustão, para a continuidade da investigação nas aulas seguintes.

A segunda aula da sequência tem como objetivo aprofundar o estudo das reações de combustão, analisando os fatores que interferem em suas condições necessárias para que ocorra. O professor inicia a aula retomando os desafios e discussões da aula anterior, relembrando as hipóteses levantadas sobre a queima da cana-de-açúcar e os fatores que podem interferir na qualidade da combustão. Em seguida, propõe um novo problema experimental, derivado do contexto anterior: “Quais fatores podem alterar o comportamento da chama e a eficiência da combustão?”. Trata-se, portanto, de um novo problema, diretamente vinculado à questão central da sequência, mas com foco conceitual e prático no fenômeno químico

Nesse momento, o professor solicita que os alunos retomem suas observações anteriores e elaborem novas hipóteses relacionadas à questão proposta. As respostas podem incluir ideias como “falta de oxigênio”, “quantidade de combustível”, “corrente de ar”, “presença de impurezas” ou “temperatura da chama”. Todas as hipóteses são registradas no quadro, de modo a valorizar a participação dos estudantes e favorecer a posterior análise experimental. Esse procedimento inicial consolida o momento de problematização. Com base nas hipóteses levantadas, o professor propõe uma atividade experimental demonstrativa de caráter

investigativo, que pode ser realizada tanto em sala quanto em laboratório, utilizando materiais simples e de fácil obtenção (velas, copos de vidro, potes transparentes, fósforos e uma lata metálica com pequenos furos).

O experimento, de natureza simples e segura, permite visualizar com clareza a relação entre o fornecimento de oxigênio, a quantidade de combustível disponível e a eficiência da reação química. Inicialmente, o professor acende uma vela em ambiente aberto, solicitando que os alunos observem atentamente o comportamento da chama. O experimento proposto tem como objetivo investigar os fatores que influenciam a eficiência da combustão.

Para o desenvolvimento da atividade, o professor organiza os alunos em pequenos grupos de 4 a 5 integrantes, favorecendo a observação e o debate entre os pares. Em seguida, o professor promove uma discussão, convidando os alunos a formular hipóteses, sobre quais fatores poderiam modificar o comportamento da chama ou afetar a eficiência da queima. As diferentes condições levantadas podem incluir, por exemplo: cobrir parcialmente a vela com um copo de vidro (para limitar o oxigênio), acender duas velas próximas uma da outra (para observar o efeito da temperatura), posicionar a vela em um local com corrente de ar (para avaliar a ventilação) ou utilizar uma lata furada para tampar a vela e averiguar a limitação da quantidade de oxigênio sobre a chama.

Após o levantamento, o docente planeja o procedimento experimental, discutindo como garantir a validade das observações, e definindo como cada hipótese será testada. Assim, é essencial que o professor considere todos os apontamentos dos estudantes e tente articular procedimentos experimentais para testar as ideias dos alunos. Visto que os procedimentos com a chama da vela são rápidos, é possível realizar 3-4 demonstrações em curto espaço de tempo utilizando os recursos e materiais descritos no parágrafo anterior (como copo de vidro, lata furada).

Após a atividade experimental, o professor reúne a turma para a discussão coletiva. Com base nas respostas, os próprios alunos começam a identificar que a eficiência da combustão depende da disponibilidade de oxigênio, assim o professor relaciona os apontamentos com a combustão completa e incompleta, por meio das observações experimentais. Por exemplo, o professor pode discutir sobre a combustão de maior eficiência da vela produzindo fumaça esbranquiçada ou incolor, enquanto a cor da fumaça produzida sob baixa quantidade de oxigênio (quando

conduzida com a lata furada) é mais escura, indicando a presença de fuligem oriunda da combustão incompleta.

Durante essas discussões, o professor retoma os conceitos abordados na primeira aula, relacionando o fenômeno observado ao contexto da queima da cana-de-açúcar. A partir da mediação docente, os alunos compreendem que o mesmo princípio químico da eficiência de combustão explica a poluição causadas pela prática da queima: parte do combustível (biomassa) é desperdiçada na forma de carbono não queimado (fuligem), e a energia liberada é menor do que em uma combustão completa.

A aula encerra com uma síntese coletiva conduzida pelo professor, em que são retomadas as ideias principais discutidas: a relação entre oxigênio e eficiência da combustão, na queima da cana e os impactos dessa prática. O docente finaliza orientando os alunos a refletirem sobre possíveis soluções e alternativas sustentáveis e propõe uma atividade, pedindo que cada aluno responda uma pergunta: “Por que a cana queimada não é tão eficiente?” Essa questão busca retomar os elementos investigados na prática, como a quantidade de oxigênio disponível, a presença de resíduos de fuligem e a coloração da chama, permitindo ao aluno expressar, com suas próprias palavras, a relação entre as condições experimentais e o tipo de combustão observada. Com base nas respostas, o professor poderá compreender como os estudantes estão articulando a explicação científica do fenômeno, o que permitirá conduzir a transição para as discussões de cunho social, ambiental e econômico relacionadas à queima da cana-de-açúcar. Dessa maneira, a segunda aula finaliza as discussões com enfoque conceitual.

Dito isso, a terceira aula se inicia com uma revisão, na qual o professor retoma conceitos previamente estudados sobre combustão e reações químicas, relacionando-os ao contexto do processamento industrial da cana-de-açúcar. Essa retomada será conduzida de forma a articular o conhecimento prévio dos estudantes com aplicações reais, como a produção de açúcar e as condições que influenciam sua qualidade. Os alunos são instigados a refletir sobre a influência do calor e das transformações químicas no processo de produção do açúcar, relacionando o conteúdo estudado à etapa de aquecimento presente na fabricação do produto. A discussão busca evidenciar que a química está diretamente envolvida na conversão da cana-de-açúcar em diferentes derivados, como o etanol e o próprio açúcar cristal,

permitindo compreender que o controle das condições de temperatura e combustão é essencial para a eficiência produtiva.

Durante a introdução, o professor apresenta o Reativo de Benedict, explicando sua função como indicador químico para a detecção de açúcares, como a glicose no caldo da cana-de-açúcar. O Reativo de Benedict é utilizado como um teste colorimétrico para a detecção de açúcares redutores presentes no caldo de cana. Durante o ensaio, a quantidade desses açúcares influencia diretamente a coloração final da solução, que pode variar de azul-esverdeada a vermelho-tijolo, conforme a concentração de glicose ou outros redutores. Essa variação ocorre devido à reação entre os açúcares e os íons cobre (Cu^{2+}) presentes no reagente: à medida que a reação avança, os íons de cobre são reduzidos a óxido cuproso (Cu_2O), que precipita e confere à mistura a tonalidade avermelhada característica. Em vez de aprofundar o mecanismo de oxirredução, o docente destaca que a mudança de cor observada indica a formação de uma nova substância, evidenciando uma transformação química. Assim, o teste permite ao aluno relacionar uma observação empírica, ou seja, a variação de cor, com um processo químico subjacente, consolidando o entendimento do conceito de reação química no contexto do experimento.

Com base nisso, o docente apresenta o problema que guiará as discussões da aula: “Como as usinas conseguem controlar as condições do processamento para maximizar a extração de açúcar da cana, minimizando perdas e degradação dos açúcares? O que acontece com a cana quando ela é queimada de forma controlada na usina, e qual é o impacto dessa queima na qualidade da produção de açúcar?”, orientando toda a prática subsequente.

A passagem da problematização industrial ocorre de modo gradual, intencional e o experimento fornece a evidência observável, visto que a aula contextualiza processos industriais em nível descritivo por meio de um teste colorimétrico, e o problema da usina é apresentado como um desdobramento investigativo natural da atividade experimental, pronto para orientar o trabalho dos estudantes. Os alunos são organizados em grupos de 5 a 6 integrantes. O professor distribuiu quatro amostras distintas para observação e análise:

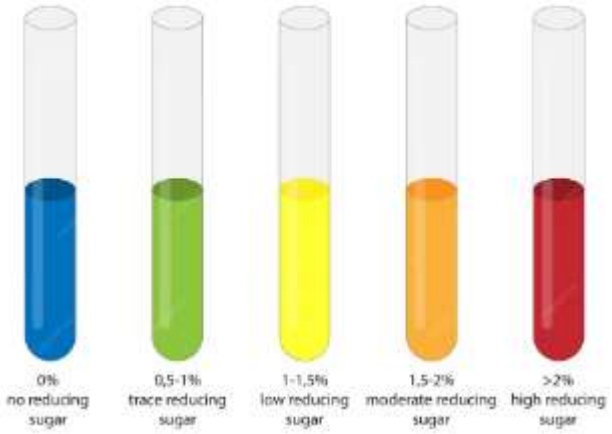
- Tubo 1: Caldo de cana limpo;
- Tubo 2: Caldo de cana aquecido;
- Tubo 3: Caldo de cana caramelizado;

- Tubo 4: Água destilada (ou mineral, em caso de indisponibilidade pode-se usar a da torneira).

Essas amostras podem ser preparadas previamente pelo docente, de modo a otimizar o tempo de aula e garantir a segurança experimental. Para o Tubo 2 (caldo aquecido), o professor pode aquecer suavemente o caldo de cana em banho-maria por alguns minutos, evitando a ebulição completa, de forma a simular o aquecimento sem promover a degradação acentuada dos açúcares. Já o Tubo 3 (caldo caramelizado) pode ser obtido através do aquecimento direto e prolongado do caldo em um béquer ou recipiente metálico, até que ocorra escurecimento visível e formação de aroma característico da caramelização, indicando a decomposição térmica parcial da sacarose. Essa preparação diferenciada permite aos alunos observar como o calor afeta os açúcares presentes no caldo de cana, contribuindo para a compreensão posterior da eficiência de combustão e das transformações químicas associadas ao processo.

Antes da discussão e formulação de hipóteses, o professor retoma com a turma a escala colorimétrica do Reativo de Benedict (vide Figura 2), fundamental para interpretar os resultados do experimento. Essa escala indica a intensidade da coloração obtida após o aquecimento da amostra com o reagente, que varia conforme a quantidade de açúcares redutores presentes na solução:

Figura 2. Escala colorimétrica para o teste de Benedict.



Fonte: engquimicasantossp.blog de Engenharia Química
https://www.engquimicasantossp.com.br/2019/05/reagente-benedict-teste-aldeido.html

Inicialmente, cada grupo será orientado a formular hipóteses sobre o comportamento do Reativo de Benedict em contato com cada amostra, com base na escala colorimétrica da Figura 2, fundamentando suas previsões em conceitos teóricos relacionados à oxidação de açúcares e à degradação térmica. Em seguida,

o professor distribui o roteiro experimental, que contém instruções detalhadas sobre o procedimento, medidas de segurança e espaços para registro de observações e resultados (Vide Apêndice III). O docente realiza a leitura coletiva do roteiro, destacando a importância do planejamento e da precisão na manipulação dos reagentes. Os alunos, então, executam o experimento conforme o roteiro, adicionando o Reativo de Benedict às amostras e submetendo-as ao aquecimento. Durante a observação, foram incentivados a registrar as mudanças de coloração e demais características organolépticas perceptíveis, utilizando uma escala colorimétrica previamente fornecida para estimar a concentração relativa de açúcares redutores.

Os dados coletados serão compartilhados e sistematizados coletivamente pelo professor, por meio de registros em lousa acerca dos resultados obtidos por cada grupo. As observações evidenciam que o aquecimento excessivo reduz a concentração de açúcares redutores, impactando a eficiência e a qualidade do produto final.

Na conclusão do experimento, os grupos apresentam e discutem seus registros e observações, comparando aspectos como intensidade da coloração obtida, tempo de reação e condições de aquecimento. A partir dessa troca, os estudantes identificam padrões nos dados, reconhecendo que o excesso de calor pode provocar degradação dos açúcares, enquanto temperaturas controladas favorecem a formação adequada dos produtos da reação. O professor conduz a sistematização coletiva, retomando as hipóteses iniciais e relacionando-as aos resultados obtidos. Nesse momento, ele evidencia que a degradação térmica dos açúcares constitui um fator limitante na produção de açúcar, destacando que compreender esses fenômenos permite reconhecer a importância do controle do calor nos processos industriais.

A partir dessa sistematização, o docente amplia a discussão para o contexto socioambiental, estabelecendo um paralelo entre o experimento e a prática da queima da cana-de-açúcar. Os alunos são convidados a refletir sobre como o superaquecimento causado pela queima da cana-de-açúcar, compromete a qualidade do caldo extraído, reduzindo o teor de açúcares aproveitáveis e, consequentemente, o rendimento da produção. Além disso, o professor destaca que a queima, embora facilite a colheita manual, gera sérios impactos ambientais e de saúde pública, como o aumento da emissão de particulados e gases tóxicos

responsáveis por problemas respiratórios nas comunidades rurais e urbanas próximas

Por fim, na finalização da terceira aula, os alunos foram reorganizados para iniciar a realização da atividade Jigsaw (que será finalizada na quarta aula da SEI), uma estratégia colaborativa que promove a aprendizagem interdependente (Aronson; Patnoe, 1997). No método Jigsaw, o conteúdo é fragmentado em pequenas unidades temáticas, e cada membro do grupo é responsável por estudar apenas uma dessas unidades. Em seguida, os alunos se reúnem com colegas de outros grupos que estudaram a mesma unidade, formando os chamados grupos especialistas, para discutir, aprofundar e consolidar o conhecimento sobre aquele tema específico. Após essa etapa, cada estudante retorna ao seu grupo original, onde compartilha com os demais integrantes o que aprendeu, garantindo que todo o grupo compreenda todas as partes do conteúdo. Dessa forma, o aprendizado é construído de forma colaborativa e interdependente, estimulando a responsabilidade individual e a comunicação eficaz entre os alunos (Aronson; Patnoe, 1997).

A dinâmica adotada pelo método Jigsaw permite que os alunos exponham suas ideias e seus conhecimentos prévios, confrontando-os com as ideias dos colegas de grupo. Na prática, a aplicação do Jigsaw em sala de aula exige planejamento cuidadoso do docente, que deve definir previamente as unidades de estudo, organizar os grupos e fornecer materiais e orientações claras para a pesquisa e discussão (Aronson; Patnoe, 1997)..

Durante a execução, o professor atua como mediador, garantindo que todos os alunos participem ativamente, promovendo tanto o aprendizado individual quanto a construção coletiva do conhecimento. Essa dinâmica permite que os estudantes desenvolvam habilidades de comunicação, argumentação e pensamento crítico, além de reforçar a responsabilidade individual no processo de aprendizagem, tornando a compreensão dos conceitos químicos mais significativa e contextualizada. Após isso, os grupos iniciam lendo um texto base e após cada grupo-base foi subdividido em grupos de especialistas, responsáveis por estudar e discutir diferentes aspectos do tema central:

- Grupo 1: Colheita mecanizada e impactos na qualidade da matéria-prima;
- Grupo 2: Geração de bioeletricidade a partir do bagaço da cana;
- Grupo 3: Bioprodutos derivados da cana e sustentabilidade;
- Grupo 4: Controle de qualidade e degradação de açúcares.

O professor apresenta os textos de apoio (dispostos no Apêndice III) e explica as diretrizes da dinâmica, orientando os alunos a lerem os textos referentes a seus grupos de especialistas. O professor orienta que realizem uma leitura crítica e colaborativa, sublinhando termos e trechos que evidenciam aspectos químicos, ambientais ou econômicos referentes ao tema do seu grupo de especialista. Durante essa etapa, o docente circula entre os grupos, observando as interações entre a elaboração de sínteses. A aula encerra-se com um breve momento de reflexão coletiva, em que os alunos foram convidados a retomar a situação-problema experimental e avaliar de que modo as atividades práticas e colaborativas contribuíram para sua compreensão.

A última aula da SEI se inicia com a retomada do método Jigsaw empregada na aula anterior, destacando como o trabalho colaborativo permitiu a especialização em diferentes temáticas ligadas ao setor sucroenergético. Em seguida, os grupos especialistas retornaram à sua formação original, para compartilhar os conhecimentos adquiridos, promovendo uma socialização dos saberes e construindo uma compreensão integrada dos processos industriais, químicos e ambientais associados à cana-de-açúcar. O docente redistribui os textos de apoio (Anexo III),auxiliando os alunos na organização de ideias, estimulando conexões entre os conteúdos e incentivando o raciocínio crítico-reflexivo.

Após cada especialista debater seus temas específicos com o grupo original, eles devem sistematizar os principais conceitos e apontamentos em formato de uma apresentação. Ressalta-se que o formato da apresentação deve ser livre, de maneira que os grupos possam optar por apresentações orais, textuais, esquemáticas ou mescladas, de maneira que eles possam escolham um método adequado para a realização de uma argumentação com maior rigor de formalidade da linguagem científica, evitando que eles apenas reproduzam conhecimentos. O professor reforça que a apresentação deverá integrar três eixos centrais:

1. A química da combustão e sua eficiência;
2. Os efeitos socioambientais da queima;
3. As alternativas sustentáveis.

Assim, cada grupo apresenta sua proposta de solução sustentável para a questão-problema inicial: “Para onde vai a energia? O dilema da eficiência na queima da cana-de-açúcar” Concluídas as exposições, o professor conduz um debate estimulando o diálogo entre os grupos e a comparação entre as propostas,

engajando os estudantes a demonstrarem seus domínios dos conceitos de eficiência de combustão, degradação térmica, poluição e sustentabilidade, além de articularem argumentos baseados em suas realidades. Ou seja, a SEI é finalizada com uma síntese coletiva, na qual o professor registra no quadro os principais pontos abordados, organizando-os em torno de três eixos: ciência química, impactos ambientais e soluções sustentáveis. A discussão final destaca a relevância da compreensão química como instrumento da realidade, ação cidadã e socioambientalmente consciente.

A estrutura proposta para a Sequência de Ensino Investigativa buscou articular, de forma progressiva, a construção conceitual, o desenvolvimento de habilidades investigativas e a contextualização social dos fenômenos estudados. Cada aula foi planejada de modo a promover o engajamento ativo dos estudantes, aproximando o conhecimento químico escolar de situações reais relacionadas à combustão e à produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar.

Dessa maneira, a estruturação da SEI constitui a base para a próxima seção, na qual serão discutidas as análises das aulas, evidenciando como os elementos teóricos do Ensino por Investigação se manifestam nas práticas planejadas e nas interações propostas entre professor e estudantes.

4.2 ANÁLISE DO PRODUTO EDUCACIONAL À LUZ DO REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, será apresentada a análise da SEI quanto à estruturação perante os aportes teóricos e metodológicos apontados pela Carvalho (2010, 2013, 2018), assim como os resultados esperados para os estudantes que se envolvam com essa SEI Conforme citado anteriormente, a SEI completa, detalhando o problema, as atividades e a progressão didático-pedagógica, bem como seus respectivos planos de aula e materiais de apoio, encontram-se dispostos nos Apêndices I, II, III e IV.

A primeira aula da sequência foi planejada para introduzir o tema da combustão e suas implicações socioambientais a partir de uma abordagem investigativa. Nesse sentido, foi elaborada uma situação-problema voltada para a construção de conceitos químicos, com o intuito de, segundo Carvalho (2013), provocar o desequilíbrio cognitivo necessário para que o aluno busque reconstruir suas concepções espontâneas à luz da linguagem científica. De acordo com

Carvalho (2010), a primeira etapa de uma sequência investigativa corresponde à apresentação do problema experimental pelo professor, cuja função é criar uma situação de conflito cognitivo capaz de suscitar perguntas e hipóteses nos alunos. Nessa perspectiva, a formulação do problema “Para onde vai a energia? O dilema da eficiência na queima da cana-de-açúcar” cumpre exatamente o papel de um “bom problema”, nos termos de Carvalho (2018).

O problema parte de uma situação real, no caso a queima da cana-de-açúcar permitindo que os estudantes a relacionem com conhecimentos químicos, como os conceitos de combustível, comburente e eficiência de combustão. Além disso, é um problema que não exige respostas imediatas, mas permite à formulação de hipóteses, permitindo que o aluno identifique variáveis e raciocine sobre causas e consequências. Segundo Carvalho (2018), um bom problema deve dar “[...] condições para os alunos resolverem e explicarem o fenômeno envolvido no mesmo”, estimulando o raciocínio causal e a elaboração de hipóteses. Ao apresentar imagens reais como a Figura 1 e vídeos de queimadas, o professor não apenas ilustra o fenômeno, mas também provoca um impacto sensorial e cognitivo, que desperta curiosidade e engajamento. Esse recurso visual tem papel essencial para o início da investigação, pois, conforme destaca Carvalho (2013), a problematização deve partir de uma situação concreta que permita aos alunos atribuir significado à questão científica.

Segundo Carvalho (2010), após os alunos analisarem o problema, eles devem se envolver em uma etapa de investigação, na qual eles irão propor hipóteses e elencar meios de testá-las, sendo que tal momento se configura como a segunda etapa de uma atividade investigativa. Ressalta-se que, nesse momento, o papel do professor é criar condições para que os alunos elaborem raciocínios, relacionem informações e construam explicações provisórias (Carvalho, 2010), essa fase ocorre quando os alunos, organizados em grupos, recebem os textos complementares que abordam as diferenças entre combustão completa e incompleta, além dos impactos ambientais associados à queima da cana. Enquanto os alunos leem e discutem, o professor circula entre os grupos, estimulando a autonomia intelectual e o raciocínio colaborativo.

Essa mediação, na visão de Carvalho (2013), entende a ação docente na SEI como um processo de mediação dialógica, em que o professor provoca o pensamento dos alunos por meio de perguntas, sem antecipar respostas. A

resolução do problema ocorre, portanto, na articulação entre interpretação textual, debate e análise de evidências, configurando uma forma de investigação mediada por fontes escritas e observações visuais. É nesse momento que os estudantes começam a compreender as variáveis envolvidas e relacionam essas variáveis à questão da eficiência energética da queima da cana.

Após cada grupo investigar o problema por meio de suas hipóteses, elencando dados e/ou evidências para defenderem sua linha de raciocínio, o professor deve prosseguir para a terceira etapa de uma atividade investigativa, na qual os alunos irão socializar suas descobertas e explicar para a classe suas ideias (Carvalho, 2010). É nessa fase que ocorre a passagem do raciocínio individual ou grupal para a dimensão coletiva da construção de conhecimento. Na aula em questão, essa etapa é contemplada quando cada grupo compartilha suas conclusões sobre os textos e relaciona as observações à situação-problema proposta no início da aula. O professor, nesse momento, atua como mediador, garantindo que as falas dos alunos se tornem pontos de partida para novas perguntas, e não apenas relatos descritivos. Essa dinâmica de socialização é fundamental para o processo de investigação, pois, conforme ressalta Carvalho (2013), é na interação discursiva que as ideias dos alunos são confrontadas, reelaboradas e aproximadas do conhecimento científico. Caso o professor não tenha tempo para realizar essa socialização do conhecimento de maneira formal, ele pode substituí-la por um registro coletivo no quadro, sintetizando os apontamentos dos grupos e assegurando que as ideias dos alunos sejam explicitadas e problematizadas.

A quarta etapa proposta por Carvalho (2010) corresponde à procura de explicações causais e sistematização do conhecimento científico. Aqui, o professor retoma os conceitos centrais da aula tais como, combustão, oxigênio, energia e eficiência e conduz uma síntese interpretativa. Essa sistematização é essencial para evitar que a atividade investigativa se conclua sem a formalização conceitual necessária, de maneira que o docente retoma as falas dos grupos e reconstrói, com apoio dos alunos, o modelo explicativo da combustão completa e incompleta. Assim, a explicação científica emerge das observações dos alunos, num movimento guiado pela mediação docente. Nessa perspectiva, o professor não apenas “explica”, mas reconstrói coletivamente o conhecimento, sistematizando-o com base nas evidências geradas pela própria investigação.

Por fim, a quinta etapa da sequência, segundo Carvalho (2010), refere-se à produção individual do aluno, momento em que ele expressa o que aprendeu utilizando a linguagem científica. Embora a aula não preveja a produção de um relatório completo, ela contempla um momento para o registro de hipóteses e das reflexões individuais sobre os fatores que afetam a eficiência da combustão. Esse registro funciona como prévia da etapa de formalização escrita, favorecendo a autonomia intelectual e preparando os estudantes para as aulas seguintes, nas quais o conteúdo será retomado em novas investigações. A solicitação de anotações e hipóteses cumpre, portanto, a função de externalizar o pensamento, permitindo ao aluno organizar suas ideias e consolidar o aprendizado.

A segunda aula da SEI tem como objetivo aprofundar o estudo das reações de combustão, focalizando os fatores que interferem na eficiência desse processo e os impactos ambientais relacionados à queima da cana-de-açúcar. A aula inicia com a retomada dos desafios e hipóteses elaboradas pelos estudantes na aula anterior, criando uma ponte entre o conhecimento prévio e o novo contexto investigativo. O professor convida os alunos a levantarem novas hipóteses sobre os fatores que influenciam a eficiência da combustão. Essa postura dialoga diretamente com Carvalho (2018), que define um “bom problema” “Quais fatores podem alterar o comportamento da chama e a eficiência da combustão?”, como aquele que permite ao aluno mobilizar seus conhecimentos prévios, elaborar hipóteses explicativas, relacionar o fenômeno ao seu contexto de vida e construir sentido sobre os conceitos científicos.

Ao lançar o problema, o professor introduz uma questão relacionada à realidade socioambiental dos estudantes, o que cumpre o primeiro e o terceiro critérios de Carvalho (2018): o problema é ao mesmo tempo adequado ao nível de conhecimentos dos alunos e contextualizado com sua realidade. Além disso, o uso de exemplos concretos e da experiência visual com a queima da cana desperta a curiosidade e promove uma problematização significativa, como defende Carvalho (2013), ao propor que o ponto de partida da investigação seja uma situação de desequilíbrio cognitivo, que leve o aluno a buscar explicações racionais para o fenômeno.

Após a análise do problema, os alunos devem propor hipóteses relacionadas a suas concepções prévias de combustão para explicar os fatores que afetam a eficiência de um processo de queima. Durante essa etapa, o professor evita validar

ou negar hipóteses, o que mantém o caráter investigativo do experimento demonstrativo. Em termos de mediação didática, o docente atua como provocador, questionando os alunos, e orientador do raciocínio lógico investigativo, coerente com o papel que Carvalho (2010) atribui ao professor no início de uma SEI.

Após a análise do problema e o levantamento das hipóteses, a aula avança para a experimentação demonstrativa com a combustão da vela. Embora o experimento seja conduzido pelo professor, ele mantém o caráter investigativo porque os alunos participam ativamente do planejamento, da observação e coleta de dados, e da interpretação dos resultados. Carvalho (2013) argumenta que, mesmo em aulas demonstrativas, é possível preservar o caráter investigativo se o professor orientar a atividade de modo que os alunos sejam desafiados a formular hipóteses, planejar e coletar dados mentalmente, isto é, agir intelectualmente sobre o fenômeno. O experimento proposto, permite observar variáveis controláveis (ausência, baixa e alta concentração de ar, temperatura, ventilação), atendendo ao segundo critério de um bom problema segundo Carvalho (2018): a possibilidade de que as hipóteses levantadas conduzam à determinação das variáveis do fenômeno. Os alunos observam a chama em ambiente aberto e sob diferentes condições (com copo fechado, lata furada, vento, proximidade entre velas), o que favorece a transição das *ações* manipulativas às ações intelectuais, como também destaca Carvalho (2010).

O professor incentiva os alunos a verbalizarem o que observam e a confrontarem suas hipóteses com as evidências empíricas, favorecendo o desenvolvimento do pensamento causal e do raciocínio, componentes centrais da alfabetização científica. Além disso, a experimentação dialoga diretamente com o contexto agrícola local, permitindo que o aluno compreenda que as mesmas leis químicas observadas na chama da vela explicam os fenômenos ambientais relacionados à queima da cana-de-açúcar.

A discussão dos resultados ocorre após as observações experimentais, quando o professor conduz uma discussão coletiva. Nesse momento, os grupos compartilham suas interpretações sobre o comportamento da chama e sobre a relação entre oxigênio e eficiência da combustão. Segundo Carvalho (2010), essa é uma etapa essencial para a consolidação do raciocínio científico, pois permite que os estudantes confrontem suas ideias, argumentem com base em evidências e reformulem suas concepções.

Ainda que o experimento seja conduzido de forma demonstrativa, a dinâmica de debate coletivo garante que a terceira etapa de um experimento investigativo se concretize, segundo Carvalho (2010). Essa socialização de ideias possibilita a emergência do conflito cognitivo e a emergência de novos significados, características centrais da abordagem investigativa. O professor, ao valorizar todas as contribuições, cria um ambiente de diálogo e validação coletiva do conhecimento, em sintonia com o papel de mediador descrito por Carvalho (2013). Essa etapa também se configura como um momento de avaliação formativa, em que o docente pode identificar as concepções persistentes, os avanços na argumentação científica e as relações que os alunos constroem entre o fenômeno observado e o contexto real.

O professor retoma conceitos trabalhados na primeira aula, como combustão completa e incompleta, e os articula ao contexto socioambiental da queima da cana-de-açúcar, evidenciando que a queima libera subprodutos poluentes, como fuligem e monóxido de carbono. Essa articulação entre o fenômeno químico e suas implicações sociais favorece a contextualização significativa e o uso do conhecimento científico em outras dimensões da vida social e ambiental. Assim, a explicação causal construída pelos alunos ultrapassa o domínio puramente conceitual, envolvendo uma compreensão de ciência. Essa abordagem é coerente com a perspectiva de Carvalho (2013), que defende que a sistematização deve sempre se apoiar nas falas e construções dos alunos, e não ser imposta pelo professor como um discurso pronto, mas negociada e reconstruída coletivamente.

Por fim, a quinta etapa aparece na proposta de aula quando o professor solicita que cada aluno responda, por escrito, à questão: “Por que a cana queimada não é tão eficiente?”. Esse momento cumpre o papel de formalização individual do conhecimento, permitindo que o docente avalie a apropriação conceitual e o desenvolvimento das competências investigativas dos estudantes. Segundo Carvalho (2010), essa fase é essencial para que os alunos transitem da linguagem cotidiana para a linguagem científica, produzindo explicações com base em evidências e conceitos. A escrita individual também favorece a metacognição, pois leva o aluno a refletir sobre o que aprendeu, quais hipóteses se confirmaram e quais precisaram ser revistas. Além de servir como instrumento avaliativo, o registro individual funciona como elo entre as aulas, fornecendo subsídios para a continuidade da SEI.

A terceira aula da SEI, desde sua introdução, buscou articular o conhecimento prévio dos alunos sobre combustão e reações químicas ao contexto industrial do processamento da cana-de-açúcar, promovendo uma conexão entre teoria e prática. O professor iniciou a aula revisando conceitos essenciais, destacando a importância do calor e das transformações químicas na produção de açúcar e em subprodutos como o etanol. Essa etapa inicial funcionou como um ponto de partida para a problematização experimental, cumprindo o papel da proposição do problema, ao apresentar aos alunos uma situação que exige observação, análise e interpretação, conforme Carvalho (2010) indica.

O problema proposto “Como as usinas conseguem controlar as condições do processamento para maximizar a extração de açúcar, minimizando perdas e degradação dos açúcares?” Atendeu aos critérios de um bom problema investigativo, pois possibilitou que os alunos elaborassem hipóteses, relacionassem a situação com experiências reais e considerassem variáveis relevantes do fenômeno. Além disso, a contextualização industrial permitiu que o problema se conectasse tanto aos conceitos escolares de química quanto às experiências cotidianas dos estudantes, reforçando a relevância social do conteúdo e permitindo a mobilização de conhecimentos prévios. Segundo Carvalho (2018), um problema bem construído deve promover a passagem das ações manipulativas para o raciocínio intelectual e a elaboração de explicações causais, o que foi claramente evidenciado ao introduzir o Reativo de Benedict como indicador de açúcares redutores, possibilitando a observação direta de transformações químicas e a reflexão sobre a degradação térmica dos açúcares.

No que se cabe a resolução do problema pelos alunos, a aula proporcionou amplas oportunidades para que os discentes propusessem hipóteses. Os alunos foram organizados em grupos de cinco a seis integrantes e receberam quatro amostras distintas: caldo de cana limpo, caldo de cana aquecido, caldo de cana caramelizado e água destilada. Cada grupo foi orientado a prever o comportamento do Reativo de Benedict em cada amostra, justificando suas hipóteses com base em princípios químicos. O planejamento coletivo do experimento, realizado a partir do roteiro entregue pelo professor, incentivou o desenvolvimento de habilidades de planejamento experimental e registro sistemático de dados, reforçando o movimento investigativo que Carvalho (2013) identifica como central para o Ensino por Investigação.

Durante a execução do experimento, os alunos adicionaram o Reativo de Benedict às amostras e observaram as mudanças de coloração, utilizando uma escala colorimétrica para estimar a concentração de açúcares redutores. Essa etapa evidenciou a passagem do domínio teórico para a ação experimental, permitindo que os estudantes aplicassem conceitos de oxidação e degradação térmica de maneira contextualizada. O processo de coleta de dados, realizado pelos alunos, caracterizou a atividade prática orientada, na qual o professor atuou como mediador, circulando entre os grupos, esclarecendo dúvidas e garantindo que a observação e a interpretação estivessem alinhadas aos objetivos investigativos. A interação entre os grupos e o docente favoreceu a construção de explicações causais e permitiu que os estudantes sistematizassem suas observações de acordo com os princípios da química, o que Carvalho (2010) descreve como essencial para a resolução de problemas experimentais. Segundo Carvalho (2018), um problema bem construído deve promover a passagem das ações manipulativas para o raciocínio intelectual e a elaboração de explicações causais, o que foi claramente evidenciado ao introduzir o Reativo de Benedict como indicador de açúcares redutores, possibilitando a observação direta de transformações químicas e a reflexão sobre a degradação térmica dos açúcares.

A terceira etapa da SEI, relativa à apresentação do que foi realizado, foi contemplada durante a discussão coletiva dos dados. Os grupos registraram e compartilharam suas observações na lousa, permitindo a comparação entre as amostras e a identificação de padrões nos resultados. Essa etapa possibilitou que os alunos reconhecessem a influência do aquecimento excessivo na caramelização do açúcar e na redução da concentração de açúcares redutores, evidenciando a importância de parâmetros como calor no controle da qualidade industrial. O momento de apresentação dos resultados promoveu a reflexão crítica e a troca de informações, consolidando a aprendizagem de maneira coletiva e integrando os conceitos teóricos à prática experimental, conforme sugerido por Carvalho (2013).

A procura de explicação causal e sistematização do conhecimento se desenvolveu por meio da análise comparativa das hipóteses iniciais e dos resultados obtidos. O professor mediou a discussão, destacando que a degradação térmica dos açúcares constitui um fator limitante na produção de açúcar e que a eficiência do processo depende do controle preciso das condições industriais. Esse momento permitiu que os alunos construíssem explicações fundamentadas e conectassem

conceitos químicos à realidade prática, integrando conhecimento experimental e teórico. A reflexão guiada pelo docente reforçou a compreensão de fenômenos complexos, incentivando a generalização de princípios químicos para diferentes contextos.

Por fim, a quinta etapa da SEI, foi abordada implicitamente por meio da atividade Jigsaw. Na dinâmica colaborativa, cada grupo-base recebeu informações de “especialistas” que estudaram partes específicas do conteúdo, promovendo o compartilhamento e a sistematização coletiva das aprendizagens. O professor orientou os alunos na elaboração de sínteses, destacando a relação entre eficiência de combustão e sustentabilidade no processamento da cana. Ao final, a produção de apresentações, seja em pôster, vídeo ou projeto, funcionou como um documento científico formalizado de maneira prática, permitindo que os estudantes articularem os conceitos investigados e suas implicações, consolidando a etapa de registro e comunicação do conhecimento, conforme sugerido por Carvalho (2018).

A articulação entre prática experimental, investigação guiada e aprendizagem colaborativa permitiu que os alunos desenvolvessem habilidades cognitivas, procedimentais e socioemocionais, incluindo raciocínio crítico, trabalho em equipe e capacidade de argumentação científica. Além disso, a contextualização industrial e socioambiental da problemática reforçou a relevância do conhecimento químico e sua aplicação na vida real, promovendo aprendizagem alinhada aos princípios da SEI.

A última aula da sequência proposta, centrada no método Jigsaw, apresenta-se a articulação entre problematização, investigação colaborativa e aplicação prática do conhecimento científico. A aula inicia com a retomada do método Jigsaw, em que os alunos em grupos especialistas da aula anterior retornam à sua formação original, promovendo a socialização dos saberes e a construção de uma compreensão integrada dos processos industriais, químicos e ambientais relacionados à cana-de-açúcar. Nessa etapa, observa-se o comprimento correspondente à proposta do problema experimental pelo professor. Conforme Carvalho (2018), um bom problema apresenta condições para que os alunos formulem hipóteses, relacionem os conceitos científicos à realidade em que vivem e mobilizem conhecimentos interdisciplinares. Na aula em questão, o problema central “Como podemos reduzir os impactos da queima da cana-de-açúcar e, ao mesmo tempo, garantir eficiência energética e sustentabilidade no processamento da biomassa?”, cumpre os critérios,

uma vez que permite aos estudantes estabelecer conexões entre a química da combustão, o controle de processos industriais e os impactos socioambientais, articulando o conhecimento científico à realidade social e econômica do setor sucroenergético (Carvalho, 2013).

Sobre a resolução do problema pelos alunos, observa-se que os grupos-base, ao integrarem os saberes adquiridos durante a especialização, propõem soluções sustentáveis que envolvem diferentes dimensões: a eficiência da combustão, os efeitos socioambientais da prática tradicional e as alternativas de aproveitamento da biomassa. Nessa fase, os alunos demonstram autonomia intelectual ao elaborarem apresentações em diversos formatos, como pôsteres, vídeos ou protótipos de projeto, o que reforça a orientação de Carvalho (2013), na qual os alunos constroem explicações causais e argumentações fundamentadas. A liberdade conferida na escolha do formato de apresentação estimula a expressão do conhecimento científico de maneira estruturada, evitando a mera reprodução de informações e promovendo a reflexão crítica sobre a aplicabilidade dos conceitos em contextos reais. A elaboração dessas apresentações permite, portanto, que os discentes exerçam atividades de síntese e integração de informações, consolidando o aprendizado de forma significativa.

Essa etapa, correspondente ao momento de socialização dos resultados pelos alunos, torna-se evidente quando cada grupo apresenta suas propostas de solução para a questão-problema, compartilhando e discutindo os conhecimentos construídos ao longo da sequência. Durante as apresentações, o professor incentiva a articulação entre os conceitos químicos como eficiência de combustão, degradação térmica e as implicações socioambientais da queima da cana. Esta etapa evidencia a oportunidade de os alunos desenvolverem habilidades de comunicação científica, argumentação e defesa de ideias, elementos centrais na construção de conhecimento. Além disso, o momento de exposição permite aos demais grupos avaliarem as hipóteses e soluções apresentadas, promovendo um intercâmbio de saberes e a construção coletiva da compreensão.

Frente a isso, a procura de uma explicação causal e a sistematização do conhecimento são articuladas de forma natural durante o debate mediado pelo professor após as apresentações. Nesse espaço, os alunos comparam e confrontam suas soluções, discutindo coerência e aplicabilidade, o que promove a reflexão crítica sobre os fenômenos químicos e seus impactos práticos. Carvalho (2010)

destaca que esta etapa é essencial para que os alunos construam explicações, relacionando teoria e prática. Na aula analisada, a mediação docente assegura que os alunos conectem os processos químicos, os efeitos ambientais e as estratégias sustentáveis, consolidando uma visão integrada e sistêmica. A sistematização dos conceitos é ainda reforçada quando o professor registra no quadro os principais aprendizados, organizando-os em três eixos: ciência química, impactos ambientais e alternativas sustentáveis, permitindo que a turma visualize a interdependência entre os elementos investigados.

Relativo à escrita individual dos alunos, essa etapa é contemplada implicitamente na elaboração das apresentações finais, nas quais cada aluno contribui para a síntese do conhecimento de forma organizada e estruturada. Mesmo que a produção formal de relatório científico não ocorra na aula, o trabalho de construção das apresentações permite que os alunos exerçam competências relacionadas à formalização do conhecimento, organização lógica de ideias e registro de evidências experimentais, atendendo aos princípios defendidos por Carvalho (2010, 2013). A oportunidade de articular dados coletados, conceitos químicos e análise crítica de impactos socioambientais garante que a aprendizagem se consolide de maneira significativa e contextualizada.

Adicionalmente, a aula evidencia características centrais do Ensino por Investigação, conforme Carvalho (2018), incluindo a promoção do pensamento crítico, a construção autônoma de hipóteses, a aplicação prática de conceitos científicos e a articulação do conhecimento à realidade social. A utilização do método Jigsaw reforça a colaboração entre pares, favorecendo a troca de experiências, a integração interdisciplinar e a responsabilização individual pelo aprendizado coletivo. Observa-se, portanto, que todas as etapas da SEI estão presentes de forma articulada e contínua, permitindo que os alunos desenvolvam competências cognitivas, procedimentais frente aos pressupostos da SEI.

Finalizada a análise das aulas constituintes SEI, observa-se que nossa proposta está concordante com os apontamentos da Carvalho (2013). A análise da SEI permitiu constatar que todas as aulas apresentam todos os elementos estruturantes do Ensino por Investigação: há uma situação-problema que instiga a curiosidade e orienta o percurso das atividades; um tempo pedagógico destinado à exploração e à ação autônoma dos estudantes, especialmente nas etapas investigativas (*e.g.,* proposição de hipótese, coleta e análise de dados) e de

socialização; e, em duas aulas, observa-se a passagem da ação manipulativa para a intelectual, conforme preconizado por Carvalho (2013, 2018), quando os alunos são levados a interpretar fenômenos observáveis e a elaborar explicações causais com base em evidências.

Dessa forma, a SEI proposta nessa monografia possibilita ao aluno integrar a problematização, experimentação e socialização do conhecimento em torno de uma temática socioambiental relevante, contribuindo para a formação científica crítica dos estudantes e promovendo a compreensão conceitual de fenômenos como a combustão, a eficiência e a degradação térmica dos açúcares, articulados às suas implicações sociais, econômicas e ambientais. Essa articulação favorece não apenas o aprendizado conceitual, mas também o desenvolvimento da argumentação científica e do pensamento reflexivo, uma vez que os alunos são incentivados a discutir, justificar e propor soluções sustentáveis diante de um problema real.

Paralelamente, a articulação das dimensões sociais, econômicas e ambientais ocorre à medida que o tema da queima da cana-de-açúcar é discutido em diferentes perspectivas: seus efeitos na qualidade do açúcar produzido, os impactos da fuligem na saúde humana, as consequências ambientais da liberação de gases e as condições socioeconômicas que sustentam a prática. Essa abordagem interdisciplinar estimula os estudantes a compreender que a Química não se limita ao laboratório, mas está profundamente relacionada às dinâmicas sociais e ambientais. Assim, a SEI promove não apenas o aprendizado conceitual, mas também o desenvolvimento da argumentação científica e do pensamento crítico, ao incentivar que os alunos analisem, justifiquem e proponham alternativas sustentáveis diante de um problema real e complexo.

Além disso, a SEI dialoga com as competências gerais e específicas da BNCC (BRASIL, 2018), ao incentivar a autonomia estudantil, a argumentação científica e o pensamento crítico diante de situações reais. A abordagem investigativa e contextualizada favorece o desenvolvimento de habilidades previstas na área de Ciências da Natureza, como a capacidade de analisar transformações químicas, reconhecer os impactos ambientais das atividades humanas e propor soluções sustentáveis. Assim, a sequência se apresenta como uma proposta pedagógica coerente com a perspectiva de uma educação científica significativa e voltada à cidadania.

Em síntese, entende-se que o protótipo aqui apresentado pode contribuir tanto para a literatura sobre o Ensino por Investigação, ao exemplificar uma aplicação coerente dos princípios de Carvalho a partir de um problema real, quanto para a prática docente, oferecendo uma alternativa didática que integra ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. Ao mobilizar os estudantes em torno de um problema concreto e relevante, a SEI reforça o papel da Química como campo de conhecimento que explica o mundo e possibilita transformações sociais, ambientais e éticas, reafirmando sua importância na formação integral do aluno.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como propósito central a elaboração e análise de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), segundo os pressupostos de Carvalho (2010, 2013, 2018), com à temática de queima da cana-de-açúcar, buscando integrar aspectos conceituais da Química com questões socioambientais relevantes ao contexto dos alunos do Ensino Médio. Retomando os pontos discutidos na introdução, partiu-se do reconhecimento de que o ensino de Química, muitas vezes, permanece restrito à memorização de fórmulas e procedimentos descontextualizados, o que dificulta a compreensão dos fenômenos e a formação de uma visão crítica sobre as implicações científicas na sociedade. Nesse sentido, a problemática que motivou este trabalho está ancorada na necessidade de promover um ensino mais investigativo, crítico e interdisciplinar, capaz de articular o conhecimento químico à realidade dos estudantes e aos desafios ambientais contemporâneos.

A escolha da queima da cana-de-açúcar como eixo temático se justifica não apenas pela sua relevância no contexto socioeconômico brasileiro, especialmente no interior paulista, mas também pelas múltiplas dimensões conceituais que envolve, combustão, eficiência e degradação térmica de compostos orgânicos, permitindo o desenvolvimento de competências científicas alinhadas à Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Assim, este trabalho teve como propósito central elaborar uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) centrada na temática da queima da cana-de-açúcar, buscando integrar os conceitos científicos de combustão e eficiência de combustão às suas implicações socioambientais, a partir de atividades experimentais e discussões orientadas pelo Ensino por Investigação.

A proposta foi estruturada de modo a favorecer o desenvolvimento da autonomia intelectual, da argumentação científica e da capacidade dos estudantes de relacionar fenômenos químicos a problemáticas reais, contribuindo para a consolidação de uma formação científica crítica e cidadã. Dessa forma, a SEI elaborada não se restringe ao domínio conceitual, mas amplia a compreensão dos estudantes sobre os impactos ambientais e sociais da queima da cana-de-açúcar, promovendo reflexões sobre práticas mais sustentáveis e o papel da ciência na transformação da realidade.

Para o desenvolvimento da sequência, foi necessário um estudo teórico e conceitual sobre os processos químicos envolvidos na queima da cana e sobre os fundamentos pedagógicos do Ensino por Investigação, conforme delineado por Carvalho (2010, 2013, 2018). Esse referencial metodológico orientou a estruturação de cada aula da SEI em cinco etapas, sendo elas a problematização pelo professor, a resolução do problema pelos alunos, a apresentação dos resultados a sistematização do conhecimento e a escrita individual de um texto, assegurando, assim, a coerência entre os objetivos propostos e as atividades planejadas. O trabalho de construção da SEI demandou, portanto, a articulação entre o conteúdo científico e a metodologia investigativa, visando à criação de situações de aprendizagem em que os estudantes pudessem agir, refletir e construir significados a partir da análise de fenômenos concretos.

A análise da SEI permitiu identificar que a proposta elaborada está em consonância com os princípios do Ensino por Investigação, pois apresenta uma questão-problema contextualizada, oferece tempo e espaço para que os estudantes desenvolvam autonomia intelectual e possibilita a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual. Além disso, observou-se que as atividades planejadas favorecem a integração entre conhecimento científico e dimensão social, especialmente ao discutir os efeitos da queima da cana sobre a qualidade do açúcar produzido e seus impactos ambientais e à saúde. Essa articulação torna o processo de ensino mais significativo, na medida em que os alunos são levados a questionar por que uma prática economicamente consolidada continua sendo adotada, mesmo apresentando prejuízos ambientais e produtivos.

Dessa forma, conclui-se que a SEI elaborada possui grande potencial educativo, uma vez que permite o desenvolvimento de diferentes dimensões do pensamento científico: a observação sistemática, o levantamento de hipóteses, a

argumentação com base em evidências e a compreensão crítica de processos químicos e sociais. Trata-se, portanto, de uma proposta coerente com os objetivos da educação científica contemporânea, especialmente por incentivar a problematização, o diálogo e a construção coletiva de significados (Carvalho, 2013; Zompero; Laburú, 2011).

Entretanto, reconhece-se que esta pesquisa apresenta limitações, sobretudo pelo fato de a SEI não ter sido aplicada em sala de aula. Assim, a análise realizada baseou-se em uma perspectiva teórica e estrutural, o que impossibilita avaliar aspectos relacionados à execução prática, como a coerência entre o planejamento e a dinâmica real de aprendizagem dos estudantes.

Como perspectiva futura, pretende-se transformar esta monografia em um produto educacional, a ser disponibilizado no repositório institucional da UNESP ou em formato de artigo acadêmico, ampliando seu alcance e utilidade para professores da educação básica. Além disso, planeja-se aplicar a SEI em contexto escolar, de modo a investigar empiricamente: (i) a correspondência entre os objetivos planejados e os resultados efetivos da aplicação; (ii) as potencialidades e limitações observadas na prática docente; e (iii) as contribuições da abordagem investigativa para o desenvolvimento da autonomia e do pensamento científico dos alunos.

Assim, acredita-se que esta pesquisa, mesmo em sua etapa inicial, oferece uma contribuição relevante ao campo do ensino de Química, ao propor uma sequência didática fundamentada teoricamente, contextualizada socialmente e comprometida com a formação crítica dos estudantes.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. 4. ed. Pernambuco: Editora Universitária UFPE, 2016.

ARONSON, E.; PATNOE, S. **The Jigsaw classroom.** 2. ed. Nova Iorque: Longman, 1997.

BIZZO, W. A. **Geração, distribuição e utilização de vapor**. São Paulo: UNICAMP, 2003.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília, DF: MEC, 2017.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília: Ministério da Educação, 2018.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular – BNCC. Ensino Médio.** Brasília: Ministério da Educação, 2024. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_EM_2018_OK.pdf. Acesso em: 29 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC). **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 2002.

BRITO, J. O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. Documentos Florestais. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, 1990.

BUKHARI, M. M.; KHASEH, S. E.; OSMAN, A.; HEGAZI, S. E. F. Investigations of the influence of dextranon sugar cane quality and sugar cane processing in Kenana sugar factory. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v. 7, n. 4, p. 381-392, 2015.

CARVALHO JUNIOR, J. A.; MCQUAY, M. Q. **Princípios de combustão aplicada**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. *In*: Carvalho, A. M. P. (org) **Ensino de Física.** Coleção Ideias em ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 53-78.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. *In*: CARVALHO, A.M.P. (Org). **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Capítulo 1, p. 1 - 20.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765 - 794, 2018.

CARVALHO, A. M. P; SASSERON, L. H. Sequências de Ensino Investigativas - SEIS: o que os alunos aprendem? *In*: TAUCHEN, G. SILVA, J. A. **Educação em**

Ciências: epistemologias, princípios e ações educativas. Curitiba: Editora CRV, p. 151-172, 2012.

CARVALHO, A. M. P.; SANTOS, E. I.; AZEVEDO, M. C. P. S.; DATE, M. P. S.; FUJII, S. R. S.; NASCIMENTO, V. B. do. **Termodinâmica: um ensino por investigação***.* São Paulo: Editora da USP, 1999.

CARVALHO, A. M. P.; SANTOS, E. I.; AZEVEDO, M. C. P. S.; DATE, M. P. S.; FUJII, S. R. S.; BRICCIA, V. **Calor e temperatura: um ensino por investigação***.* São Paulo: Editora da Física, 2014.

CITERNAS, J.; VARGA, J.; MONTE, O. **Fundamentos de bioquímica experimental***.* 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2001.

CNN BRASIL. Queimadas em canaviais paulistas atingiram 100 mil hectares, estima Orplana. São Paulo: **CNN Brasil**, 9 set. 2024. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/queimadas-em-canaviais-paulistas-atingiram-100-mil-hectares-estima-orplana/. Acesso em: 21 out. 2025.

COUTINHO, S. L. **Emissão de poluentes atmosféricos por automóveis no Brasil, 2010–2020: uma revisão de literatura.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2022.

DEBOER, G. E**.** Historical perspectives on inquiry teaching in schools. *In*: FLICK, L. B.; LEDERMAN, N. G. **Scientific inquiry and nature of science.** Netherlands: Springer, 2006. Cap. 2, p. 17-35.

DEMIATE, M.; WOSIACKI, G.; CZELUSNIAK, C.; NOGUEIRA, A. Determinação de açúcares redutores e totais em alimentos: comparação entre método colorimétrico e titulométrico. **Ivo Publicatio UEPG – Ciências Exatas e da Terra, C. Agrárias e Engenharias**, v. 8, n. 1, p. 65–78, 2002.

FARIAS, M.S.F: MENDONÇA, A.P. Desing Thinking como percurso Metodológico para Construção de Produto Educacional: uma experiência no Mestrado Profissional na Área de Ensino. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 7, 3103621, 2021.

FIGUEROA, M. J**.** Degradação térmica e pirólise da biomassa. **Revista de Engenharia e Energia,** v. 3, n. 2, p. 45–59, 2009.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.

GARCIA, C. R. **Combustão e energia: fundamentos e aplicações.** Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, n. 10, p. 43-49, 1999.

GOERGEN, P. L. Educação e democracia no contexto do capitalismo neoliberal contemporâneo. **Educação,** v. 43, n. 2, p. 36221, 2020.

GUIMARÃES C. C.; Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa. **Química Nova**, Vol. 31, N° 3, AGOSTO 2009.

HERNÁNDEZ-LÓPEZ, A.; SÁNCHEZ FÉLIX, D. A.; ZUNIGA SIERRA, Z.; AVILA-ALEJANDRE, A. Quantification of reducing sugars based on the qualitative technique of Benedict. **ACS Omega,** v. 5, n. 50, p. 32994–33002, 2020.

JOSÉ, H. J.; SENA, R. F. **Combustão e combustíveis.** João Pessoa: UFPB, 2010.

LEITE, B. S. A experimentação no ensino de química: uma análise das abordagens nos livros didáticos. **Educação Química**, v. 29, n. 3, p. 61-78, 2018.

LOPES, R. M.; CARVALHO, A. M. P. **Sequências de Ensino Investigativas: um guia para o professor de Ciências***.* São Paulo: Cortez, 2012.

MALANCHEN, J. C.; SANTOS, L. L. C. P. B. Formação docente para a BNCC: uma análise crítica. **Educação e Pesquisa,** v. 46, p 12. e218844, 2020.

MALHEIROS, B T. **Metodologia da pesquisa em educação.** 1ed. LTC Editora, 2011. 276p.

MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose por resfriamento***.* 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MARSIGLIA, A. C. G.; PINA, V. R.; MACHADO, A. M.; LIMA, S. P. M. Base Nacional Comum Curricular: autonomia ou heteronomia? **Cadernos de Pesquisa**, v. 47, n. 165, p. 780-798, 2017.

MOROZ, M. G.; GIANFALDONI, M. H. T. A. **O Processo de Pesquisa: Iniciação**. 2 ed. Brasília: Liber Livro Editora, 2006.

NASCIMENTO, V. B. do**. Competências docentes em um projeto de inovação para a educação científica***.* 2012. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger***.* 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022.

PADILHA, J. N. **O uso das palavras e gestos durante a construção dos conceitos de sombra e reflexão nas aulas de conhecimento físico***.* 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

REIN, P. **Engenharia do açúcar de cana***.* Berlin: Bartens, 2013.

RENDINA, G. **Técnicas de Bioquímica Aplicada***.* México: Interamericana, 1974.

RITO, J. O. **Pirólise e carbonização da madeira***.* São Paulo: IPEF, 1990.

SANTOS, L. P.; MENEZES, C. R. Experimentação no ensino de química: uma análise sobre a contribuição para a formação cidadã. **Debates em Educação**, v. 12, n. 28, p. 111-125, 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. **Currículo Paulista.** São Paulo: SEDUC/UNDIME-SP, 2019.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: um olhar para a participação em aulas de ciências. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 1, p. 133-149, 2011.

SASSERON, L. H. **Em busca de influências culturais na investigação e na explicação de atividades de conhecimento físico por alunos indígenas.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SCHEID, N. M. J. Educação científica e a formação de cidadãos: o papel das instituições educativas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias,** v. 17, n. 1, p. 1-17, 2018.

SILVA, E. S.; SASSERON, L. H. BNCC: entre avanços de pesquisa e articulações necessárias. **Currículo & Docência,** v. 2, n. 2, p. 23-45, 2020.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. **Ciências & Cognição**, v. 14, n. 1, p. 50-74, 2009.

TURNS, S. R. **Introdução à combustão: conceitos e aplicações.** 3. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013.

VIANA, A. M. L.; SANTOS, P. S. B. dos. Reutilização da palha da cana-de-açúcar como fonte de biomassa para cogeração de energia: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 11, p. 1-24, 2023.

VLASSOV, D. **Combustíveis, combustão e câmara de combustão.** Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

WEAVER, W.; FOSTER, W. **Chemistry for our times.** Nova Iorque: McGraw-Hill Book Company Inc., 1947. p. 203.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. O ensino por investigação: histórico, características e pressupostos. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 3, p. 573–592, 2011.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, E. C. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 67-80, dez. 2011.

APÊNDICE I

PLANO DE AULA 1

DOCENTES:	André Mistrini
COMPONENTE CURRICULAR	Química
PÚBLICO-ALVO:	2º Ano do ensino médio
HORÁRIO:	-
LOCAL/SALA:	-
DURAÇÃO:	1 aula
DATA:	-

1. Tema da aula (UNIDADE TEMÁTICA):

Eficiência de combustão e degradação térmica (Matéria e Energia)

2. Competências e Habilidades:

Competência: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Habilidade: (EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

3. Conteúdos (OBJETOS DE CONHECIMENTO):

- Combustão;
- Eficiência de combustão.

4. Pré-requisitos esperados (CONCEITOS PRÉVIOS):

Teórico

- Transformações químicas;
- Estados da matéria;
- Calor e temperatura;
- Reações químicas e a identificação de reagentes e produtos.

5. Objetivo da aula:

Objetivo Geral de ensino: Investigar o processo de combustão da cana-de-açúcar a partir de uma abordagem problematizadora, analisando experimentalmente a eficiência de combustão e diferenciando os processos e fundamentos.

Objetivo Geral de aprendizagem: Analisar a eficiência de uma reação de combustão, correlacionando a presença de reagentes e produtos como a fuligem e o monóxido de carbono (CO) com o impacto ambiental e a segurança.

6. Fundamentos metodológicos e estratégias didáticas

Baseada na abordagem metodológica Ensino por Investigação, a aula será baseada nos pressupostos de uma Sequência de Ensino Investigativa (Carvalho, 2013). Devemos seguir O primeiro passo segundo Carvalho (2010) a proposta do problema experimental pelo professor, é fundamental que o professor garanta a total compreensão do problema experimental pelos alunos, podendo reformulá-lo e defini-lo quantas vezes for necessário. A etapa de coleta de dados é de responsabilidade dos alunos, porém o movimento de conclusão e resolução da problemática será realizado em conjunto com a turma, com a orientação do professor (Carvalho, 2018).

I) Introdução (10 Minutos):

A aula terá início com uma revisão orientada sobre o conceito de transformações químicas, buscando reativar os conhecimentos prévios dos estudantes e situá-los no campo das reações químicas. O professor inicia a conversa com perguntas instigantes, como:

- "O que diferencia uma transformação física de uma transformação química?"
- "Quando um material é queimado, ele desaparece?"
- "O que acontece com a matéria após uma queima?"

Essas perguntas funcionam como gatilhos, permitindo ao professor identificar concepções alternativas, como a ideia de que a matéria "se perde" ou "acaba" durante a combustão, uma noção comum entre alunos do Ensino Médio. Em seguida, o docente apresenta um esquema visual (projetado ou no quadro) que retoma os estados físicos da matéria e as principais evidências de reações químicas: liberação de gases, mudança de cor, produção de calor e formação de novos produtos. A partir disso, é introduzida a reação de combustão do metano, representada pela equação:

$$(CH_4(g)+2O_2(g)\rightarrow CO_2(g)+2H_2O(g))$$

Essa reação é explorada como ponto de partida para a reflexão sobre a conservação da massa e a formação de novos produtos. O professor questiona os alunos sobre o papel de cada substância na reação, conduzindo-os à distinção entre reagentes e produtos. A partir das respostas, são introduzidos os conceitos de combustível e comburente. Para tornar o conteúdo mais significativo, o professor enfatiza que a combustão é uma reação química de alta relevância social, presente em processos cotidianos (uso de fogões, motores e queimadas agrícolas). Essa contextualização reforça o caráter interdisciplinar da atividade e prepara o terreno para a problematização central da aula.

II) Apresentação do problema (05 minutos): Após a revisão inicial, o professor apresenta do problema: "Para onde vai a energia? O dilema da eficiência na queima da cana-de-açúcar." Para contextualizar o problema, o docente exibe imagens e um vídeo curto (provenientes de fontes jornalísticas, como G1, Folha ou canais agrícolas) que mostram plantações de cana-de-açúcar em chamas, evidenciando o impacto ambiental da prática. As imagens destacam a liberação de fumaça escura, fuligem e gases poluentes, que muitas vezes encobrem cidades próximas e prejudicam a saúde das populações locais. Essas questões servem para instigar a curiosidade e o incômodo dos estudantes, abrindo espaço para o levantamento de hipóteses e a formulação de problemas investigáveis. O professor atua como mediador, acolhendo as ideias dos alunos e valorizando suas percepções, sem julgá-las como certas ou erradas. A intenção é criar um ambiente de diálogo e construção coletiva,

fundamental para a abordagem investigativa

III) Desenvolvimento (25 minutos): Concluída a problematização inicial, o professor organiza a turma em grupos de 5 a 6 alunos, assegurando que cada equipe seja heterogênea e que haja equilíbrio na participação. Antes de distribuir os materiais, o docente reforça as regras de colaboração, incentivando que todos assumam papéis ativos, como leitor, relator, anotador e porta-voz do grupo. Em seguida, são entregues dois textos de apoio (dispostos no *Apêndice I.I*), que serão analisados pelos grupos com o propósito de investigar as causas e consequências da ineficiência das combustões.

- Texto 1 – Eficiência de Combustão e Energia:
  Explica os fatores que determinam a eficiência de uma reação de combustão, diferenciando a combustão completa (com oxigênio em quantidade adequada, gerando CO_2 e H_2 O) da combustão incompleta (com falta de oxigênio, produzindo CO e fuligem). O texto destaca como a quantidade de oxigênio e a temperatura influenciam o aproveitamento da energia liberada e a formação de poluentes.

- Texto 2 – Os "Vilões Químicos" da Fumaça:
  Apresenta os efeitos da combustão incompleta sobre o ambiente e a saúde humana, abordando a ação da fuligem (carbono sólido) e do monóxido de carbono (CO) como agentes de poluição e toxicidade. O texto incentiva a reflexão sobre as consequências sociais e ambientais das queimadas agrícolas.

Durante a leitura dos textos, o professor deverá assumir um papel mediador e investigativo, conforme orienta Carvalho (2013), circulando entre os grupos para observar o andamento da atividade, incentivar a formulação de hipóteses, esclarecer dúvidas conceituais e estimular o diálogo entre os alunos. Em vez de fornecer respostas prontas, o professor deve questionar e provocar reflexões nos alunos. Essa etapa tem o objetivo de fortalecer a autonomia investigativa dos alunos, desenvolver a interpretação crítica de textos científicos e construir coletivamente a base conceitual necessária para compreender, nas próximas fases da sequência, os processos de combustão, eficiência energética e sustentabilidade. Após a leitura, o professor irá guiar uma discussão para que os grupos conectem o conteúdo dos textos às imagens e ao problema inicial, respondendo a perguntas sobre a combustão, a relação com o oxigênio e a eficiência da combustão.

IV) Finalização (10 minutos): Por fim, o professor estabelece a conexão entre a teoria e a prática, relacionando o conceito de eficiência da combustão com o cotidiano dos agricultores e o contexto da queima da cana-de-açúcar. Essa etapa tem o objetivo de ressignificar o conteúdo científico à luz de uma situação real, conforme as orientações de Carvalho (2013) sobre a importância de contextualizar o conhecimento e promover o pensamento crítico. Após essa retomada, o professor lança um desafio coletivo, conduzindo os alunos a um momento de brainstorming em grupo. Durante essa etapa, o professor deve atuar como mediador do pensamento investigativo, incentivando a participação equitativa dos grupos, valorizando diferentes pontos de vista e instigando os alunos a justificar suas ideias com base nos conceitos científicos estudados. O foco não está em encontrar a resposta correta, mas em aplicar o conhecimento construído para formular novas perguntas, hipóteses e caminhos possíveis. A aula se encerra com uma reflexão coletiva, retomando os principais aprendizados e preparando os alunos para as próximas etapas da SEI. O professor reforça que, nas aulas seguintes, os estudantes investigarão quais fatores determinam a eficiência da combustão e como o conhecimento químico pode contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis.

7. Recursos didáticos:

- Lousa e Marcador de quadro branco;
- Caneta, lápis e borracha;

- Textos base (APÊNDICE I.I);

8. Critérios Avaliativos

Por meio de avaliação contínua, iremos avaliar a análise das propostas dos grupos durante o brainstorming. Avaliar se as soluções propostas estão alinhadas com os conceitos aprendidos sobre eficiência de combustão, a qualidade das hipóteses levantadas pelos alunos ao verem as imagens e o vídeo. O objetivo não é a resposta certa, mas a capacidade de fazer conexões iniciais e demonstrar habilidades relacionadas à investigação científica. Por exemplo, a capacidade de usar os termos técnicos e científicos para explicar o fenômeno observado na queima da cana é um bom indicador de aprendizagem. O professor não espera respostas completas, mas sim a capacidade dos alunos de formular perguntas mais profundas e propor caminhos iniciais.

9. Referências:

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: Carvalho, A. M. P. (org) **Ensino de Física**. Coleção Ideias em ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 53-78.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A.M.P. (Org). **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Capítulo 1, p. 1 - 20.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765 - 794, 2018.

CARVALHO, A. M. P; SASSERON, L. H. Sequências de Ensino Investigativas - SEIS: o que os alunos aprendem? In: TAUCHEN, G. SILVA, J. A. **Educação em Ciências: epistemologias, princípios e ações educativas**. Curitiba: Editora CRV, p. 151-172, 2012.

Texto 1 : Eficiência de Combustão e Energia

A eficiência de combustão está diretamente relacionada à forma como a energia química armazenada em um combustível é transformada em energia térmica (calor) e luminosa. Esse processo depende, essencialmente, da quantidade de oxigênio disponível e das condições de queima, fatores que determinam se a reação será completa ou incompleta.

Combustão Completa: A combustão completa ocorre quando há oxigênio em quantidade suficiente para reagir com todo o combustível presente. Nesse tipo de reação, o combustível é totalmente convertido em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O), liberando

máxima quantidade de energia. Um exemplo é a queima do metano, representada pela equação:

$$(CH_4(g)+2O_2(g)\rightarrow CO_2(g)+2H_2O(g))$$

Nessa situação, o processo é altamente eficiente, pois não há formação de resíduos ou gases tóxicos, e não há mais energia no sistema a ser consumida . Toda a energia química contida nas ligações do combustível é transformada em energia térmica e luminosa. Esse tipo de combustão é o que se busca em processos industriais e sistemas de geração de energia, como nas usinas que utilizam o bagaço da cana-de-açúcar, pois permite aproveitamento máximo da biomassa e menor emissão de poluentes.

Combustão Incompleta: Já a combustão incompleta ocorre quando não há oxigênio ou energia suficiente para reagir com todo o combustível. Como resultado, parte da matéria não é totalmente oxidada, originando subprodutos poluentes e menos energia liberada. Entre os principais produtos formados estão o monóxido de carbono (CO), o carbono sólido (C) e pequenas quantidades de hidrocarbonetos não queimados. Essa reação, além de ineficiente energeticamente, representa um risco ambiental e à saúde, pois os subprodutos gerados são tóxicos e contribuem para a poluição atmosférica. Em processos industriais, como na queima da palha ou do bagaço da cana, a combustão incompleta reduz o rendimento energético e aumenta a emissão de gases prejudiciais, como o CO e partículas de carbono.

Em resumo, a diferença entre os dois tipos de combustão evidencia a importância de controlar as condições do processo, especialmente o fornecimento de oxigênio, a temperatura e o tempo de reação para garantir maior eficiência, menor desperdício e menor impacto ambiental.

Texto 2 : Os "Vilões Químicos" da Fumaça: Impactos dos Subprodutos da Combustão Ineficiente

Quando a combustão é incompleta, nem toda a energia do combustível é aproveitada. Em vez de gerar apenas dióxido de carbono e água, surgem subprodutos tóxicos e poluentes que afetam diretamente a saúde humana, a qualidade do ar e o equilíbrio ambiental. Esses compostos são os chamados "vilões químicos" da fumaça, substâncias invisíveis ou visíveis que indicam que a queima foi mal conduzida ou ineficiente.

Fuligem (Partículas de Carbono): A fuligem é formada por micropartículas sólidas de carbono resultantes da combustão parcial. Visualmente, é percebida a fumaça escura que sai de queimadas, chaminés e motores. Embora muitas vezes visível, uma parte significativa da fuligem é invisível a olho nu partículas ultrafinas que penetram profundamente nas vias respiratórias. Essas partículas, quando inaladas, podem atingir os alvéolos pulmonares, causando irritação, inflamações e doenças respiratórias crônicas como asma, bronquite e enfisema pulmonar. Além disso, a fuligem aumenta o aquecimento global, pois as partículas de carbono negro absorvem radiação solar, contribuindo para o aumento da temperatura atmosférica. Em regiões canavieiras, a queima da palha libera grandes quantidades dessas partículas, afetando tanto trabalhadores rurais quanto comunidades próximas, o que reforça a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis, como a colheita mecanizada sem queima.

Monóxido de Carbono (CO): O monóxido de carbono é um gás invisível, inodoro e extremamente perigoso, formado quando o oxigênio disponível não é suficiente para transformar o carbono em dióxido de carbono (CO_2). Por não possuir cor nem cheiro, é quase imperceptível, o que o torna ainda mais letal.

Ao ser inalado, o CO se liga fortemente à hemoglobina do sangue, muito mais do que o oxigênio, bloqueando o transporte de oxigênio para as células do corpo. Mesmo em pequenas concentrações, causa tontura, dor de cabeça, náusea e confusão mental; em exposições prolongadas ou altas concentrações, pode levar à asfixia e morte. Além do risco humano, o CO contribui para a formação do ozônio troposférico, um poluente atmosférico que agrava problemas respiratórios e prejudica os ecossistemas. Portanto, compreender a formação e os efeitos desses “vilões químicos” é essencial para que os alunos percebam que a ineficiência da combustão não é apenas um problema químico, mas também social e ambiental, exigindo mudanças tecnológicas e de conscientização.

A transição para processos de combustão mais eficientes e limpos como os que ocorrem nas usinas modernas, representa um avanço crucial rumo à sustentabilidade e à saúde coletiva.

APÊNDICE II

PLANO DE AULA 2

DOCENTES:	André Mistrini
COMPONENTE CURRICULAR	Química
PÚBLICO-ALVO:	2º Ano do ensino médio
HORÁRIO:	-
LOCAL/SALA:	-
DURAÇÃO:	1 aula
DATA:	-

1. Tema da aula (UNIDADE TEMÁTICA):

Eficiência de combustão e degradação térmica (Matéria e Energia)

2. Competências e Habilidades:

Competência: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Habilidade: (EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

3. Conteúdos (OBJETOS DE CONHECIMENTO):

- Combustão;
- Eficiência de combustão (Completa e incompleta).

4. Pré-requisitos esperados (CONCEITOS PRÉVIOS):

Teórico

- Transformações químicas;
- Estados da matéria;
- Calor e temperatura;
- Reações químicas e a identificação de reagentes e produtos.

Laboratório

- Vela comum
- Fósforos ou isqueiro
- Copos de vidro de diferentes tamanhos (200 mL, 500 mL)
- Lata com pequenos furos (latinha furada)
- Abanador

- Pinça metálica
- Cronômetro

5. Objetivo da aula:

Objetivo Geral de ensino: Possibilitar com que os alunos consigam analisar e interpretar quais os impactos afetam uma combustão.

Objetivo Geral de aprendizagem: Avaliar as limitações que afetam uma combustão, analisando os dados coletados de diversas métodos variando sua exposição à queima, através de ensaio laboratorial.

6. Fundamentos metodológicos e estratégias didáticas

Baseada na abordagem metodológica Ensino por Investigação, a aula será baseada nos pressupostos de uma Sequência de Ensino Investigativa (Carvalho, 2013). O experimento será baseado no ensino investigativo demonstrativo, no qual o professor é responsável por fornecer a situação-problema aos alunos, porém ele irá propor hipóteses e elaborar um realizar o procedimento experimental em conjunto com o aluno. A etapa de coleta de dados é de responsabilidade dos alunos, porém o movimento de conclusão e resolução da problemática será realizado em conjunto com a turma, com a orientação do professor (Carvalho, 2018).

I) Introdução (5 Minutos): A aula inicia-se com uma retomada coletiva das discussões e hipóteses formuladas na aula anterior, relembrando o problema e hipóteses dos alunos: "Por que alguns materiais apresentam maior eficiência de combustão do que outros e fatores podem influenciar a eficiência de uma combustão?"
O professor conduz um breve diálogo, solicitando que os estudantes recordem as ideias levantadas sobre os fatores que podem influenciar a combustão, como quantidade de oxigênio, tipo de combustível, presença de impurezas, corrente de ar e temperatura da chama. Essas hipóteses são registradas na lousa, de modo a valorizar as contribuições dos alunos e prepará-los para o novo momento experimental.Em seguida, o docente retoma os conceitos de combustão e eficiência de combustão, relacionando-os ao caso da queima da cana-de-açúcar. Ele explica que, na queima da biomassa, parte do material pode reagir de forma incompleta, gerando fuligem e monóxido de carbono, o que indica uma combustão ineficiente, em que o combustível não libera toda a sua energia. Em contrapartida, quando há oxigênio em quantidade adequada, a reação é mais eficiente, liberando máxima energia química e resultando predominantemente em gases como CO_2 e vapor d'água.
O professor destaca que, na queima da cana, essa diferença é visível: a fuligem e a fumaça escura são indícios de reação incompleta, enquanto as cinzas finas e claras representam combustão completa, onde a energia do material foi melhor aproveitada. Essa retomada teórica prepara o terreno para o novo desafio experimental da aula, formulado na questão-problema: "Quais fatores podem alterar o comportamento da chama e a eficiência da combustão"?

II) Desenvolvimento (35 minutos): O professor explica que a aula se desenvolverá por meio de demonstrações experimentais investigativas, realizadas com materiais simples e seguras (velas, copos de vidro, potes transparentes, fósforos e uma lata metálica com pequenos furos). O objetivo é permitir aos alunos observar, levantar hipóteses e analisar as condições que interferem no processo de combustão.

Demonstração 1 – Condições padrão (observação inicial da chama)

O professor acende uma vela em ambiente aberto, solicitando que os alunos observem atentamente a cor, a estabilidade e o tamanho da chama. Em seguida, questiona:

- "O que faz a chama permanecer acesa?"
- "Quais substâncias estão reagindo?"
- "O que aconteceria se o ar fosse bloqueado?"

O docente aproveita para retomar conceitos fundamentais: Combustível, Comburente e Produto da reação. As respostas dos alunos são registradas no quadro, categorizadas em tipos de fatores que podem interferir na combustão:

1. Fatores químicos – tipo e quantidade de combustível, presença de impurezas;
2. Fatores físicos – disponibilidade de oxigênio, ventilação, temperatura;
3. Fatores ambientais – pressão, corrente de ar, umidade.

Demonstração 1 - Condições padrão: Acender a vela em ambiente aberto (Retomada conceitual básica: termos como combustível (material oxidável) e comburente (agente oxidante)). A seguir, o professor solicitará aos alunos para que elaborem hipóteses com relação fatores que afetam a combustão, Listar na lousa as ideias dos alunos categorizadas por tipo de fator (ex.: "quantidade de ar", "tipo de material", "tamanho do material"). Após a primeira demonstração, realizar Experimento Investigativo Multivariado e guiado com base nas respostas dos alunos, instigando os discentes a pensarem em mais fatores que impliquem a queima. Ao final, relacione cada observação com os conceitos de: Combustão completa (chama azul, máximo de energia liberada); Combustão incompleta (chama amarela, fuligem, monóxido de carbono); Eficiência térmica (aproveitamento energético vs. perdas). O professor orienta os grupos a planejarem, junto com ele, pequenas variações experimentais baseadas nas hipóteses listadas. Algumas possibilidades incluem:

- Experimento A – Limitação do oxigênio: cobrir parcialmente a vela com um copo de vidro e observar o tempo até a chama se apagar;
- Experimento B – Variação da ventilação: posicionar a vela próxima a uma corrente de ar e observar mudanças na forma e cor da chama;
- Experimento C – Aumento da temperatura: acender duas velas próximas, observando a fusão e a altura das chamas;
- Experimento D – Obstrução com lata furada: cobrir a vela com uma lata metálica perfurada, observando a coloração da fumaça e o comportamento da chama.

Após as demonstrações, o docente conduz uma discussão coletiva, orientando os alunos a relacionar as observações com os conceitos científicos. A análise deve permitir identificar três aspectos principais:

1. Combustão completa: chama azulada, ausência de fuligem, produção de CO_2 e liberação máxima de energia.
2. Combustão incompleta: chama amarelada, presença de fumaça escura e fuligem (carbono sólido), indicando desperdício de energia e emissão de poluentes.
3. Eficiência térmica: quanto mais completa a reação, maior o aproveitamento energético e menor a perda de material não queimado.

O professor retoma o vínculo com a queima da cana-de-açúcar, destacando que o mesmo princípio químico explica a poluição observada no campo: a insuficiência de oxigênio durante a queima da biomassa gera combustão incompleta, produzindo partículas sólidas e gases tóxicos.

III) Finalização (10 minutos):

Por fim, o professor irá dispor todos os dados coletados em lousa (em formato de tabela) e concluir a aula explicando e, validar as descobertas dos alunos, como a disponibilidade de oxigênio, o tipo de combustível e as condições ambientais influenciam diretamente a eficiência de uma combustão Para finalização da aula, iremos evidenciar, na próxima aula, que avançaremos para o desafio de como otimizar a combustão em larga escala, aplicando esses princípios para reduzir poluição e aumentar a eficiência. Até lá, observem ao seu redor: quantas combustões incompletas vocês identificam no dia a dia?" Por fim, o professor propõe uma atividade individual de fechamento, pedindo que cada aluno responda, por escrito: "Por que a cana queimada não é tão eficiente?" Essa questão serve para verificar como os alunos articulam as observações experimentais (como cor da chama, presença de fumaça e temperatura) com os conceitos de combustão completa e incompleta. O professor pode recolher as respostas como forma de avaliação diagnóstica, para compreender o nível de consolidação conceitual. Encerrando, o professor anuncia a continuidade da investigação na próxima aula, explicando que os conhecimentos construídos até aqui serão aplicados no estudo de estratégias para otimizar a combustão e reduzir seus impactos ambientais, conectando o conteúdo químico às práticas sustentáveis no campo.

7. Recursos didáticos:

- Lousa e Marcador de quadro branco;
- Caneta, lápis e borracha;
- Roteiro experimental;
- Vela comum
- Fósforos ou isqueiro
- Copos de vidro de diferentes tamanhos (200 mL, 500 mL)
- Lata com pequenos furos (latinha furada)
- Abanador
- Pinça metálica
- Cronômetro

8. Critérios Avaliativos

Por meio de avaliação contínua, iremos avaliar a compreensão dos alunos sobre degradação térmica, eficiência de combustão e sobre a necessidade de se empregar métodos científicos para equiparar os impactos da queima da cana de açúcar, mediante suas respostas no material disponibilizado (Apêndice) assim como suas contribuições durante os debates de resultado, participações durante o experimento.

9. Referências:

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: Carvalho, A. M. P. (org) **Ensino de Física**. Coleção Ideias em ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 53-78.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A.M.P. (Org). **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Capítulo 1, p. 1 - 20.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765 - 794, 2018.

CARVALHO, A. M. P; SASSERON, L. H. Sequências de Ensino Investigativas - SEIS: o que os alunos aprendem? In: TAUCHEN, G. SILVA, J. A. **Educação em Ciências: epistemologias, princípios e ações educativas**. Curitiba: Editora CRV, p. 151-172, 2012.

APÊNDICE II.I

Roteiro experimental I

Curso:	Química			**Modalidade de:**		Ensino Médio	
Componente Curricular:		(EM13CNT102), (EM13CNT301)					
Ano :	**2º**	**N.aulas semanais:**		**2**	**Área:**	Química	
Total de horas:	100	**Total de aulas:**	5		**Número professores:**		01
Professor(es) responsável(eis):							
Sequência Didática:	Da queima da cana à formação cidadã						
Atividade:	Eficiência de combustão						

1) Alicerces Teóricos

A eficiência de combustão é a capacidade de um processo de oxidar o combustível de forma completa, transformando a maior parte da energia presente no combustível em energia térmica, com mínima formação de subprodutos de combustão incompleta, como CO e fuligem.

Em termos energéticos, quanto mais completa for a oxidação dos elementos químicos combustíveis (por exemplo, carbono e enxofre) para seus produtos finais (CO_2 e SO_2), maior será a eficiência do processo, refletindo-se na maior liberação de energia e menores impactos ambientais.

O poder calorífico de um combustível representa a quantidade total de energia liberada durante a combustão completa. Ele é expresso de duas formas:

- Poder Calorífico Superior (PCS): considera toda a energia liberada, incluindo o calor de condensação do vapor d'água nos produtos.
- Poder Calorífico Inferior (PCI): desconsidera essa parcela de calor latente, pois, na prática, os gases de combustão permanecem em fase gasosa.

A diferença entre PCS e PCI está relacionada à entalpia de vaporização da água, tanto a formada na queima do hidrogênio quanto a proveniente da umidade do combustível.

Segundo Garcia (2002), o PCI é o mais utilizado na indústria, pois reflete melhor a energia efetivamente aproveitada em sistemas abertos.

Esses conceitos são essenciais para compreender o desempenho energético da biomassa, como a cana-de-açúcar, permitindo avaliar a oxidação dos elementos presentes, quantificar as perdas e minimizar impactos ambientais.

A degradação térmica (ou pirólise) é outro processo relevante. Trata-se da quebra das ligações químicas pela ação do calor, na ausência ou limitação de oxigênio, formando novos compostos, gases e vapores.
De acordo com Brito (1990), esse fenômeno origina resíduos sólidos (cinzas) e produtos como o carvão vegetal. Em biomassas como a cana-de-açúcar, a degradação térmica ocorre em faixas de temperatura específicas:

- Até 200 °C – *pirólise lenta*, com liberação de vapor d'água;
- 200–280 °C – *pirólise rápida*, liberação de gases e reações exotérmicas sem ignição;
- 280–380 °C – produção significativa de gases condensáveis (ácido acético, metanol) e formação de carvão vegetal (Figueroa, 2009).

Assim, a análise da eficiência da combustão deve considerar não apenas a presença de oxigênio, mas também os aspectos térmicos, energéticos e estruturais que afetam a transformação da biomassa em energia.

2) Objetivos de aprendizagem

Investigar um experimento e levantar hipóteses a respeito do impacto da queima na qualidade da cana para a produção de açúcar, evidenciando os conceitos de Eficiência de combustão e degradação térmica.

3) Equipamentos e reagentes necessários

1 Vela comum
- fósforos ou isqueiro
- copos de vidro transparentes (de es tamanhos)
- potes de vidro ou béqueres
- uma lata metálica com pequenos furos,
- suporte metálico
- cronômetro

4) Procedimento experimental

Demonstração 1: Condições Padrão (10 min)

- O professor acende uma vela em ambiente aberto e orienta os alunos a observar a cor, forma e estabilidade da chama.
- Em seguida, solicita que os grupos elaborem hipóteses sobre fatores que podem afetar o comportamento da chama, como:
  - Limitação do oxigênio;
  - Corrente de ar;
  - Quantidade de combustível;
  - Presença de impurezas.
- As hipóteses são registradas na lousa e classificadas em categorias de fatores: químicos, físicos e ambientais

Experimento Investigativo Multivariado

Os alunos observam diferentes situações, conduzidas com o apoio do professor:

Situação	Procedimento
1. Limitação de oxigênio	Cobrir a vela parcialmente com um copo de vidro
2. Combustão incompleta	Tampar com uma lata furada
3. Corrente de ar	Posicionar a vela em local ventilado
4. Proximidade de duas velas	Acender duas próximas

Durante o experimento, os alunos devem registrar hipóteses, observações e inferências.

O professor orienta a análise qualitativa dos fenômenos observados, conduzindo à relação entre cor da chama, presença de resíduos e eficiência da combustão

5) Questões a serem investigadas

1. Qual a cor que caracteriza uma combustão completa?
2. Quais evidências indicam que uma combustão foi incompleta?
3. Como a limitação de oxigênio afeta a chama e os produtos da reação?
4. Que relação existe entre cor da chama e temperatura?
5. De que forma a eficiência da combustão da cana-de-açúcar impacta o meio ambiente e o aproveitamento energético?
6. Qual é a importância de compreender o poder calorífico dos combustíveis na busca por alternativas sustentáveis?

6) Referências Bibliográficas

RITO, J. O. **Pirólise e carbonização da madeira.** São Paulo: IPEF, 1990.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências por Investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

FIGUEROA, M. J. **Degradação térmica e pirólise da biomassa.** Revista de Engenharia e Energia, v. 3, n. 2, p. 45–59, 2009.

GARCIA, C. R. **Combustão e Energia**: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

LOPES, R. M.; CARVALHO, A. M. P. S**equências de Ensino Investigativas**: um guia para o professor de Ciências. São Paulo: Cortez, 2012

APÊNDICE III

PLANO DE AULA 3

DOCENTES:	André Mistrini
COMPONENTE CURRICULAR	Química
PÚBLICO-ALVO:	2º Ano do ensino médio
HORÁRIO:	-
LOCAL/SALA:	-
DURAÇÃO:	2 aulas
DATA:	-

1. Tema da aula (UNIDADE TEMÁTICA):

Eficiência de combustão e degradação térmica (Matéria e Energia)

2. Competências e Habilidades:

Competência: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Habilidade: (EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

3. Conteúdos (OBJETOS DE CONHECIMENTO):

- Combustão e Rendimento;
- Degradação Térmica.

4. Pré-requisitos esperados (CONCEITOS PRÉVIOS):

Teórico

- Transformações químicas;
- Estados da matéria;
- Fundamentos da combustão.

Laboratório

- Prática laboratorial;
- Interpretação de roteiro experimental;
- Manipulação de vidrarias.

5. Objetivo da aula:

Objetivo Geral de ensino: Possibilitar que os alunos analisem e interpretem quais os impactos da queima da cana para a produção de açúcar, por meio de prática laboratorial.

Objetivo Geral de aprendizagem: Avaliar e diferenciar a quantidade de açúcar que pode ser produzido pela cana-de-açúcar, por meio de aspectos submicroscópicos, levando em consideração os efeitos da degradação térmica causados pela queima da palha de cana no seu processo de produção.

6. Fundamentos metodológicos e estratégias didáticas

Baseada na abordagem metodológica Ensino por Investigação, a aula será baseada nos pressupostos de uma Sequência de Ensino Investigativa (Carvalho, 2013). O experimento será baseado no grau 2 de liberdade intelectual, no qual o professor é responsável por fornecer a situação-problema aos alunos, porém, em conjunto com os alunos, eles irão propor hipóteses e elaborar um procedimento experimental. A etapa de coleta de dados é de responsabilidade dos alunos, porém o movimento de conclusão e resolução da problemática será realizado em conjunto com a turma, com a orientação do professor (Carvalho, 2018). Método Jigsaw, nesse método, o conteúdo é dividido em pequenas partes e cada membro do grupo é designado a estudar apenas uma delas; estudam-na junto com alunos de outros grupos, responsáveis por discutir esse material comum; depois voltam ao seu grupo de base para ensinar e compartilhar o que foi estudado especificamente (Aroson & Patnoe, 1997).

I) Introdução (15 Minutos): Explicar aos alunos por meio de uma revisão dialógica que conecte intencionalmente o conhecimento prévio sobre combustão aos processos industriais de processamento da cana-de-açúcar, em que os alunos compartilhem seus conhecimentos sobre combustão e reflitam sobre como o calor e as reações químicas influenciam produtos que usamos diariamente, como o açúcar. Promover uma discussão sobre como os fenômenos químicos influenciam a produção e a qualidade dos produtos, permitindo os alunos a analisar criticamente situações práticas, como perdas de rendimento, eficiência industrial e impactos no consumo. Dessa forma, espera-se que os alunos compreendam a relação entre combustão, controle de temperatura e a eficiência do processamento da cana, percebendo a aplicação dos conceitos químicos em contextos reais e próximos ao seu cotidiano.

A seguir, o professor introduz o Reativo de Benedict como ferramenta de detecção.O Reagente de Benedict ou Teste de Benedict é um reagente químico, comumente utilizado para detectar presença de açúcares redutores, nos quais se incluem glicose, entre outros. Reagente de Benedict consiste, basicamente, de uma solução de sulfato cúprico ($CuSO_4$) em meio alcalino.Em presença de um agente redutor apresenta a coloração castanha devido a formação do óxido cuproso (Cu_2O), conforme a seguinte reação:

$$Cu^{2+}(aq) + 4OH^-(aq) + RCHO(aq) \rightarrow Cu_2O(s) + 2\,H_2O(l)$$

A partir desse aspecto, introduz-se uma **situação-problema** aos alunos: "Lembram-se de que a fumaça escura da queima de campo sinaliza desperdício energético? “Como as usinas conseguem controlar as condições do processamento para maximizar a extração de açúcar da cana, minimizando perdas e degradação dos açúcares o que acontece com a cana quando ela é queimada de forma controlada na usina? E qual é o impacto da queima na qualidade da cana para a produção de açúcar?"

II) Desenvolvimento (45 minutos): Após introduzir o problema, iremos solicitar que os alunos formem 4-5 grupos de 5-6 alunos (a depender da quantidade de alunos em sala) e, em seguida, apresentar algumas amostras aos alunos:

Tubo 1: Caldo de cana limpo;
Tubo 2: Caldo de cana aquecido;
Tubo 3: Caldo de cana caramelizado;
Tubo 4: Água Destilada

Observação: em caso de não ter água destilada, pode-se usar água mineral ou torneira.

A seguir, o professor solicitará aos alunos para que elaborem hipóteses com relação aos

materiais, definindo se há como prever o comportamento do Reativo de Benedict de açúcares em cada amostra, justificando suas hipóteses com base em teorias e dados científicos.

Findada essa etapa, deve-se avaliar o procedimento apresentado, neste momento o docente deve entregar o roteiro experimental (anexo), e junto dos discente ler, avaliar e orientar o que está descrito no roteiro experimental para diferenciar as amostras e avaliar por meio de uma tabela a quantidade de açúcar presente nas amostras, de maneira que o plano de trabalho abarque o processo experimental contendo etapas que contemplem a observação a olho nu e também por uma escala cromática, após isso apresenta a situação-problema:

> "Como as usinas conseguem controlar as condições do processamento para maximizar a extração de açúcar da cana, minimizando perdas e degradação dos açúcares? O que acontece com a cana quando ela é queimada de forma controlada na usina, e qual é o impacto dessa queima na qualidade da produção de açúcar?"

Após a proposição de hipóteses, os alunos irão seguir o procedimento metodológico descrito no roteiro experimental (Apêndice)

Posteriormente será solicitado aos alunos que façam a prática, observando as amostras de cana preparadas e coletem dados baseado em características organolépticas e principalmente a escala colorimétrica das amostras de caldo de cana-de-açúcar .Com os dados em mãos, os alunos irão averiguar a coerência de suas hipóteses iniciais, detalhando-os com os resultados obtidos com a prática experimental, analisar seus dados, responder algumas questões do roteiro e por fim, junto à turma e ao docente, responder a situação problema apresentada no início da aula.

III) Conclusão (10 minutos): Por fim, o professor deverá evidenciar os dados que podem ser coletados e observados durante a prática, registrando-os na lousa em formato de tabela para facilitar a análise e a comparação entre as diferentes amostras. Esses dados podem incluir, por exemplo, variações de cor em testes redutores, alterações na formação de precipitados ou diferenças na concentração aparente de açúcares. A partir dessas observações, o professor deverá conduzir a reflexão dos alunos sobre como pequenas diferenças químicas, muitas vezes invisíveis a olho nu, podem ser identificadas por meio de métodos experimentais simples. A conclusão da aula deve enfatizar que a degradação térmica dos açúcares é limitada, sendo um critério importante para diferenciar amostras que, a princípio, parecem ter a mesma concentração, mas que apresentam propriedades distintas que impactam significativamente a produção industrial de açúcares. Dessa forma, os alunos compreendem a relevância do controle de fatores como temperatura, pH e presença de substâncias como a dextrana, entendendo como esses elementos influenciam a eficiência e a qualidade no processamento da cana-de-açúcar.

IV) Finalização (30 minutos): Posteriormente, os alunos serão subdivididos em 4 grupos de 6 membros, que posteriormente se organizarão em 4 grupos de especialistas, a fim de iniciar a atividade Jigsaw, uma técnica de aprendizagem colaborativa em que cada aluno ou grupo é responsável por aprender uma parte do conteúdo e depois ensinar aos colegas. Assim, todos dependem uns dos outros para compreender o tema completo, promovendo engajamento, responsabilidade individual e construção coletiva do conhecimento. Os grupos especialistas serão distribuídos da seguinte forma:

- Grupo Especialista 1: Colheita Mecanizada – Este grupo ficará responsável por compreender as vantagens e desvantagens da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, abordando aspectos econômicos, sociais e ambientais, além de analisar como a qualidade da matéria-prima impacta a eficiência do processamento industrial e a preservação dos açúcares.

- Grupo Especialista 2: Geração de Bioeletricidade – Este grupo investigará como o bagaço da cana-de-açúcar é utilizado para gerar energia renovável nas usinas, explicando a conversão em vapor e eletricidade, os benefícios ambientais e econômicos dessa prática, e como a eficiência energética depende da qualidade do bagaço e do controle de fatores como temperatura e pH durante o processamento da sacarose.
- Grupo Especialista 3: Bioprodutos da Cana – Este grupo estudará os resíduos da cana e suas aplicações em bioprodutos sustentáveis, como biofertilizantes, bioplásticos e compostos químicos para indústrias farmacêuticas e cosméticas. Também discutirá como o controle de processamento influencia a qualidade desses resíduos e como seu aproveitamento contribui para a sustentabilidade ambiental e para a agregação de valor econômico.
- Grupo Especialista 4: Controle de Qualidade e Degradação de Açúcares – Este grupo se concentrará no monitoramento de fatores como temperatura, pH e formação de dextrana, analisando como eles influenciam a inversão da sacarose e a destruição de glicose e frutose. Além disso, discutirá como o controle rigoroso desses parâmetros garante a diferenciação de amostras aparentemente semelhantes, impactando a eficiência e a qualidade da produção industrial.

Para a finalização da aula, serão apresentados aos alunos textos de apoio, disponíveis no Anexo II, que fornecem informações complementares sobre os conceitos estudados e os processos químicos envolvidos. Em seguida, o professor apresentará as orientações detalhadas para a realização da atividade Jigsaw, explicando o funcionamento da dinâmica, o papel de cada participante e como a colaboração entre os grupos permitirá a compreensão completa do conteúdo. Durante toda a atividade, o professor estará disponível para orientar os alunos sempre que necessário, esclarecendo dúvidas, reforçando conceitos e garantindo que todos compreendam tanto o conteúdo individual quanto o coletivo. Essa etapa final visa consolidar o aprendizado, estimulando a participação ativa, a responsabilidade compartilhada e a aplicação prática do conhecimento adquirido ao longo da aula, permitindo que os alunos compreendam de forma integrada os processos da cana-de-açúcar, desde a colheita até a geração de bioenergia e produção de bioprodutos, e a importância do controle de qualidade para maximizar rendimento e sustentabilidade.

7. Recursos didáticos:

- Lousa e marcador de quadro brancoou giz e quadro negro;
- Caneta, lápis e borracha;
- Roteiro experimental e textos base;
- Tubos de Ensaio;
- Aparelhagem de aquecimentos;
- Caldos de Cana limpo, aquecido e caramelizado;
- Água Destilada (ou água da torneira);
- Reativo de Benedict ou Licor de Fehling.

8. Critérios Avaliativos

Por meio de avaliação contínua, iremos averiguar a compreensão dos alunos sobre degradação térmica, eficiência de combustão e sobre a relevância de métodos científicos na produção de dados que suportem suas hipóteses (ou as refuta), mediante suas respostas no material

disponibilizado.

9. Referências:
ARONSON, E.; PATNOE, S. The Jigsaw classroom. 2ed. Nova Iorque: Longman, 1997. CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: Carvalho, A. M. P. (org) **Ensino de Física**. Coleção Ideias em ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 53-78. CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A.M.P. (Org). **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Capítulo 1, p. 1 - 20. CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765 - 794, 2018. CARVALHO, A. M. P; SASSERON, L. H. Sequências de Ensino Investigativas - SEIS: o que os alunos aprendem? In: TAUCHEN, G. SILVA, J. A. **Educação em Ciências: epistemologias, princípios e ações educativas**. Curitiba: Editora CRV, p. 151-172, 2012.

Roteiro experimental II

Curso:	Química			**Modalidade de:**		Ensino Médio	
Componente Curricular:		(EM13CNT102), (EM13CNT301)					
Ano :	**2º**	**N.aulas semanais:**	**2**	**Área:**	Química		
Total de horas:	100	**Total de aulas:**	5	**Número professores:**	01		
Professor(es) responsável(eis):							
Sequência Didática:	Da queima da cana à formação cidadã						
Atividade:	Eficiência de combustão e degradação térmica						

1) Alicerces Teóricos

Os carboidratos são moléculas essenciais para o organismo, pois fornecem energia às células por meio de processos oxidativos. Dividem-se em três grupos: monossacarídeos (como glicose e frutose), dissacarídeos (como sacarose) e polissacarídeos. Sua capacidade redutora depende da presença de grupos funcionais livres, que permitem reduzir íons metálicos como Cu^{2+} e Ag^{+} . O teste de Benedict comprova essa propriedade, ao reduzir o

Cu^{2+} a Cu^{+} em meio alcalino, formando um precipitado de óxido de cobre (Cu_2 O), cuja cor varia de azul a vermelho-tijolo conforme a concentração de açúcar. As principais consequências da deterioração por meio da queima de cana de açúcar, segundo Albuquerque (2016) são: Produção de dextrana, aumento de açúcares invertidos, redução de pH e aumento de ácidos orgânicos. A bactéria causadora da dextrana é capaz de consumir uma grande quantidade da sacarose presente no caldo da cana-de-açúcar em um curto período de tempo (Bukhari *et al*., 2015).

Segundo (Mantelatto, 2005), fatores como a temperatura afetam principalmente na inversão da sacarose, e quando a temperatura for muito elevada, a destruição dos açúcares invertidos (glicose e frutose), quando o pH for alcalino. No processo produtivo, a formação de dextrana é altamente prejudicial na recuperação da sacarose em produtos, causando perdas de rendimento industrial, além de diversos outros problemas. Além disso, a dextrana presente em açúcares, caldos e xaropes podem causar falsas leituras, devido a sua estrutura química (Bukhari et al., 2015).

2) **Objetivos de aprendizagem**

Investigar um experimento de açúcar e levantar hipóteses a respeito do impacto da queima na qualidade da cana para a produção de açúcar, evidenciando os conceitos de eficiência de combustão e degradação térmica.

3) **Equipamentos e reagentes necessários**

- 1 béquer de 500 mL
- Bico de Bunsen
- 1 suporte universal com garras
- 1 Tripé e tela de amianto
- Pipeta de Pasteur
- 4 tubos de ensaio
- Água destilada
- Caldo de Cana (Limpo, aquecido e caramelizado)
- Água Destilada

4) **Procedimento experimental**

1. Preencha o béquer com aproximadamente 300 mL de água destilada e o posicione o equipamento de aquecimento;

2. Inicie o aquecimento do sistema e observe a evolução do sistema até a ebulição da água;

3. Rotule 4 tubos de ensaio e pipetar em cada um deles 2,0 mL das seguintes soluções:

Tubo 1: Caldo de cana limpo; Tubo 3: Caldo de cana caramelizado;

Tubo 2: Caldo de cana aquecido; Tubo 4: Água Destilada.

4. Adicionar em cada tubo 3,0 mL do reagente de Benedict e agitar bem;

5. Incubar os tubos em água fervente durante 5-7 min.;

6. Remova os tubos da água e deixe esfriar na bancada. A presença do íon Cu^{+} (reduzido) é sinalizada pela formação de um precipitado de coloração vermelho-tijolo característica, conforme a tabela abaixo. Observação: **NÃO DEIXE O NÍVEL DA ÁGUA DO BÉQUER BAIXO**

Cor	**Concentração de Açúcar**
Azul	Negativo (sem açúcar redutor)
Verde	baixa concentração
Amarelo	Concentração moderada
Laranja	Concentração moderada
Vermelho-tijolo	Alta Concentração

Em caso de não ter um laboratório na escola, recomenda-se o vídeo a seguir: https://youtube.com/shorts/qj_G9RmQWZU?si=xfa_UbYo5mwU6y-A, porém recomenda-se analisar todas as transições colorimétricas (antes e após o banho). As análises devem ser feitas com base na proposta do roteiro.

5) Questões a serem investigadas

1. Qual a cor inicial dos líquidos nos tubos?"
2. "O que acontece com a cor dos líquidos após o aquecimento? Há diferenças entre os tubos A, B e C?"
3. "O que essa diferença na reação nos diz sobre a quantidade de açúcar em cada amostra de cana?"
4. "Por que o aquecimento, que simula a queima, afetou o teor de açúcar?"
5. "Pensando no processo industrial, a usina queima o bagaço da cana de forma controlada para gerar energia. Por que esse processo é considerado mais eficiente do que a queima da cana no campo? Como o nosso experimento e a observação do que influência uma

combustão nos ajudam a entender a diferença entre uma queima eficiente e uma ineficiente?"

6. "A queima de um pedaço de cana na lavoura causa duas perdas principais: uma de energia (fuligem) e outra de produto (açúcar). O que nosso experimento com o Reativo de Benedict nos mostrou sobre a perda do produto? Qual a relação entre a eficiência da combustão e o prejuízo para a produção de açúcar na indústria?"
7. "A queima incompleta libera fuligem, que é carbono não queimado. O caldo de cana aquecido também mostrou uma perda de qualidade. Como podemos relacionar o carbono 'perdido' na fumaça com o açúcar 'perdido' no nosso experimento? Ambos representam uma falta de eficiência, mas de que forma?"

6) Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. Pernambuco: Editora Universitária UFPE, 4 ed, 2016.

BUKHARI, M. M.; KHASEH, S. E.; OSMAN, A.; HEGAZI, S. E. F. **Investigations of the influence of dextranon sugar canequality and sugar caneprocessing in Kenana sugar factory**. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, v.7, n.4, p.381-392, 2015.

MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose por resfriamento**. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022.

REIN, P. **Engenharia do açúcar de cana**. Bartens. Berlin, 2013.

RENDINA, G. **Técnicas de Bioquímica Aplicada**. México: Interamericana, 1974.

Texto base: A cadeia produtiva da cana-de-açúcar envolve etapas interligadas que influenciam a eficiência industrial, a sustentabilidade e os impactos socioeconômicos. A colheita mecanizada representa um avanço importante ao permitir maior produtividade em menor tempo, reduzindo custos e eliminando a queima prévia da palha. Embora demande elevados investimentos e reestruturação da mão de obra rural, contribui para menor contaminação da matéria-prima e melhora o rendimento industrial. Ainda assim, requer atenção a efeitos como compactação do solo e necessidade de capacitação técnica.

O aproveitamento do bagaço para geração de bioeletricidade fortalece a autossuficiência energética das usinas e reduz a dependência de combustíveis fósseis. O vapor produzido pela combustão do bagaço movimenta turbinas, permitindo suprir a demanda interna e, muitas vezes, oferecer excedentes à rede. A eficiência desse processo depende diretamente da qualidade da matéria-prima, já que condições inadequadas de temperatura, pH ou degradação dos açúcares reduzem o poder calorífico do bagaço.

A produção de bioprodutos amplia o uso da biomassa e agrega valor aos resíduos industriais. Subprodutos como biofertilizantes, bioplásticos, compostos químicos e bioetanol de segunda geração contribuem para uma economia mais sustentável e reduzem impactos ambientais. Para isso, é indispensável o controle de parâmetros físico-químicos que preservem a integridade dos resíduos, garantindo qualidade e rendimento nos produtos finais.

O controle de qualidade, por sua vez, é essencial em todo o processo produtivo, pois monitorar fatores como pH, temperatura e formação de dextrana evita a inversão da sacarose e a degradação de açúcares, reduzindo perdas industriais. Essa etapa permite distinguir amostras aparentemente semelhantes, mas com comportamentos distintos na extração, contribuindo para a eficiência econômica, para a redução de desperdícios e para o melhor aproveitamento energético e químico da cana-de-açúcar

Grupo Especialista1: Colheita Mecanizada

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar representa uma das transformações mais profundas no setor sucroenergético nas últimas décadas. Essa modernização trouxe um salto significativo em produtividade, permitindo que grandes áreas sejam colhidas em menos tempo e com maior regularidade operacional. A mecanização reduz os custos associados à mão de

obra intensiva, diminui a variabilidade humana no corte e cria condições mais estáveis para o planejamento industrial, uma vez que o fluxo de matéria-prima se torna mais constante e previsível. No entanto, embora ofereça vantagens econômicas expressivas, sua implementação exige alto investimento inicial em maquinário, manutenção e capacitação técnica de operadores, elementos que podem desafiar pequenas e médias propriedades.

Do ponto de vista ambiental, a colheita mecanizada foi decisiva para a redução da queima da palha, prática historicamente utilizada para facilitar o corte manual. A eliminação dessa etapa diminui drasticamente a emissão de poluentes atmosféricos, fuligem e gases tóxicos, gerando impactos positivos para a saúde pública e para o clima. A palha deixada no campo ainda contribui para a proteção do solo, retenção de umidade e aumento da matéria orgânica. Por outro lado, a circulação constante de máquinas pesadas pode levar à compactação do solo, afetando a infiltração de água, o desenvolvimento das raízes e a biodiversidade microbiana. Assim, torna-se necessário adotar estratégias de manejo, como tráfego controlado e planejamento de linhas de corte, para minimizar esses efeitos.

Socialmente, a mecanização modifica a estrutura do trabalho no campo. A redução da mão de obra para corte manual, historicamente numerosa, gera impactos profundos nas dinâmicas rurais, exigindo novas políticas de qualificação profissional e recolocação. Os trabalhadores passam a exercer funções técnicas, como operação de máquinas, manutenção e gestão de processos, o que demanda formação especializada. Embora isso represente uma modernização das competências exigidas, também evidencia desigualdades no acesso à educação técnica e desafios para comunidades rurais tradicionais.

No âmbito industrial, a colheita mecanizada influencia diretamente a qualidade da matéria-prima. A cana colhida de forma padronizada tende a apresentar menor nível de impurezas minerais e vegetais, reduzindo danos mecânicos nos colmos e a degradação de açúcares. Isso aumenta a eficiência da extração e melhora o desempenho energético do bagaço, refletindo positivamente em toda a cadeia produtiva. Assim, a mecanização, embora complexa em seus impactos, configura-se como elemento indispensável para a competitividade e sustentabilidade do setor sucroenergético.

Grupo Especialista 2: Geração de Bioeletricidade

A geração de bioeletricidade a partir do bagaço de cana-de-açúcar consolidou-se como um dos pilares das usinas modernas, transformando um subproduto antes subvalorizado em fonte estratégica de energia renovável. Durante o processamento industrial, o bagaço é queimado em caldeiras de alta pressão para produzir vapor, que aciona turbinas responsáveis pela geração de eletricidade. Esse sistema garante a autossuficiência energética das usinas e, em períodos de safra, possibilita a exportação de excedentes para a rede pública, contribuindo para a matriz energética nacional com uma fonte limpa e de baixa emissão de carbono.

A utilização do bagaço reduz a dependência de combustíveis fósseis e intensifica o conceito de economia circular dentro da indústria sucroalcooleira. A combustão da biomassa aproveita um resíduo inevitável da produção de açúcar e etanol, reduzindo a necessidade de descarte e gerando energia de forma contínua durante toda a safra. Além disso, as cinzas geradas podem ser reaproveitadas como insumo agrícola, fechando ainda mais o ciclo de utilização dos recursos.

A eficiência da geração de bioeletricidade, contudo, depende diretamente da qualidade da matéria-prima e das condições do processo industrial. Fatores como temperatura elevada, pH inadequado na extração ou degradação excessiva dos açúcares podem afetar a integridade do bagaço, diminuindo seu poder calorífico. A formação de dextrana, por exemplo, além de prejudicar a qualidade da sacarose, altera propriedades físico-químicas dos resíduos, interferindo na combustão eficiente. O controle rigoroso desses parâmetros assegura um bagaço mais homogêneo e com maior valor energético, garantindo melhor desempenho das caldeiras e das turbinas.

Do ponto de vista ambiental, a bioeletricidade contribui para um ciclo mais sustentável, já que seu carbono liberado na combustão faz parte do ciclo natural de fotossíntese da planta, diferentemente das emissões fósseis. Ainda assim, o manejo do bagaço deve ser realizado com cuidado para evitar perdas, deterioração microbiana e fermentações indesejáveis. Como fonte renovável, estratégica e abundante, a bioeletricidade posiciona o setor sucroenergético como protagonista na transição energética brasileira

Grupo Especialista 3: Bioprodutos da Cana

A valorização integral da biomassa da cana-de-açúcar tem se consolidado como

tendência global, impulsionada pela necessidade de sustentabilidade, inovação e diversificação econômica. Além do açúcar e etanol, a indústria vem convertendo resíduos como torta de filtro, vinhaça, palha e bagaço em uma variedade crescente de bioprodutos. Esse movimento amplia o conceito de biorrefinaria, no qual praticamente todos os componentes da planta são transformados em produtos de alto valor agregado.

Entre os bioprodutos mais significativos estão os biofertilizantes, que utilizam nutrientes presentes na vinhaça e na torta de filtro para enriquecer o solo sem recorrer a fertilizantes químicos. Outra frente relevante é a produção de bioplásticos, obtidos por processos biotecnológicos que transformam açúcares e resíduos em polímeres biodegradáveis, reduzindo a dependência do petróleo. Adicionalmente, compostos derivados da biomassa têm sido aplicados nas indústrias farmacêutica e cosmética, dada a alta disponibilidade de carboidratos e moléculas bioativas presentes na cana.

O avanço tecnológico também possibilitou o desenvolvimento do etanol de segunda geração (E2G), produzido a partir da celulose e hemicelulose do bagaço e da palha. Esse etanol aumenta significativamente o aproveitamento energético da plantação, sem demandar expansão de área cultivada. Entretanto, para que todos esses processos sejam eficientes, é fundamental controlar rigorosamente condições de pH, temperatura e prevenção da degradação de açúcares durante a etapa industrial. A formação de dextrana, por exemplo, modifica propriedades químicas dos resíduos e prejudica a qualidade final dos bioprodutos.

Economicamente, o aproveitamento integral da biomassa eleva a rentabilidade das usinas e reduz impactos ambientais associados ao descarte. Ambientalmente, diminui a geração de resíduos, amplia o ciclo de vida dos materiais e fortalece modelos produtivos sustentáveis. Assim, a produção de bioprodutos posiciona o setor como referência em inovação e economia circular, ampliando as fronteiras tecnológicas e econômicas da cana-de-açúcar.

Grupo Especialista 4: Controle de Qualidade e Degradação de Açúcares

O controle de qualidade na indústria sucroenergética é fundamental para garantir eficiência, evitar perdas e assegurar a integridade da matéria-prima desde a colheita até o processamento final. Durante a extração e purificação do caldo, diversos fatores influenciam

diretamente a preservação da sacarose e o rendimento industrial. Entre esses fatores, destacam-se a temperatura, o pH, o tempo de processamento e a formação de compostos indesejáveis como a dextrana. Quando essas variáveis não são adequadamente monitoradas, ocorre degradação dos açúcares, resultando em inversão da sacarose e perdas significativas durante a cristalização.

A formação de dextrana, produzida por bactérias quando o caldo permanece por muito tempo exposto ou é contaminado por microrganismos, aumenta a viscosidade da solução, dificulta a clarificação e prejudica a filtração. Isso afeta tanto a etapa de purificação quanto a recuperação dos açúcares, interferindo diretamente no rendimento final. Da mesma forma, temperaturas elevadas e pH inadequado aceleram reações químicas que degradam glicose e frutose, gerando compostos que prejudicam a qualidade do açúcar e do etanol.

Um ponto importante do controle de qualidade é a capacidade de diferenciar amostras que, apesar de apresentarem concentração semelhante de sacarose, exibem comportamentos distintos no processo industrial. Duas canas com o mesmo índice de ATR podem resultar em produtos finais completamente diferentes se uma delas estiver degradada ou contaminada. Assim, o monitoramento microbiológico, físico-químico e operacional é essencial para evitar perdas invisíveis, mas altamente impactantes.

Além do retorno econômico, o controle de qualidade também contribui para a sustentabilidade do processo. Ao evitar desperdícios, maximiza-se o uso energético e químico da cana, reduzindo o volume de resíduos e a demanda por recursos adicionais. A eficiência do processo depende da integração entre colheita, transporte, moagem e tratamento do caldo, demonstrando que o controle de qualidade não é uma etapa isolada, mas um componente contínuo e estratégico que sustenta toda a cadeia produtiva

APÊNDICE IV
PLANO DE AULA 4

DOCENTES:	André Mistrini
COMPONENTE CURRICULAR	Química
PÚBLICO-ALVO:	2º Ano do ensino médio
HORÁRIO:	-
LOCAL/SALA:	-
DURAÇÃO:	1 aula
DATA:	-

1. Tema da aula (UNIDADE TEMÁTICA):

Eficiência de combustão e degradação térmica (Matéria e Energia)

2. Competências e Habilidades:

Competência: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Habilidade: (EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

3. Conteúdos (OBJETOS DE CONHECIMENTO):

- Eficiência de Combustão;
- Degradação Térmica.

4. Pré-requisitos esperados (CONCEITOS PRÉVIOS):

Teórico

- Transformações químicas;
- Estados da matéria;
- Combustão (Completa e incompleta);
- Eficiência de Combustão.

5. Objetivo da aula:

Objetivo Geral de ensino: Possibilitar com que os alunos consigam analisar e interpretar quais os impactos da queima da cana para a produção de açúcar, segundo métodos Jigsaw e desenvolvimento de atividade.
Objetivo Geral de aprendizagem: Consolidar o aprendizado, permitindo que os alunos apliquem o conhecimento científico para propor soluções para um problema real através do Jigsaw e debates.

6. Fundamentos metodológicos e estratégias didáticas

Baseada na abordagem metodológica Ensino por Investigação, a aula será baseada nos pressupostos de uma Sequência de Ensino Investigativa (Carvalho, 2013). A etapa de coleta de dados é de responsabilidade dos alunos, porém o movimento de conclusão e resolução da problemática será realizado em conjunto com a turma, com a orientação do professor (Carvalho, 2018).

I) Introdução (15 Minutos):
Relembrar a dinâmica, incentivando cada membro a compartilhar seus conhecimentos para que o grupo, em conjunto, tenha uma compreensão completa sobre as quatro áreas temáticas: colheita mecanizada, bioeletricidade, bioprodutos e controle de qualidade. Cada grupo deve elaborar uma pequena apresentação (em formato de pôster, vídeo, ou esboço de projeto) que sintetize e aplique todo o conhecimento adquirido ao longo da SEI. A apresentação durante a aula deve conter:

- Uma explicação clara da química da combustão e eficiência de combustão e por que a queima da cana no campo é ineficiente e prejudicial.
- Uma demonstração dos efeitos socioambientais da prática tradicional (saúde, poluição, perda de matéria-prima)
- A proposta de uma ou mais alternativas sustentáveis, como a colheita mecanizada ou o uso do bagaço para energia, com justificativas baseadas em conceitos como eficiência de combustão, degradação térmica e aproveitamento total da biomassa

II) Desenvolvimento e Finalização (35 minutos): Nesta etapa, o conhecimento é compartilhado e debatido, servindo como uma avaliação final e uma contextualização social. Cada grupo terá tempo para apresentar sua proposta de solução, nesse momento os grupos poderão elaborar slides, cartazes ou uma apresentação oral. As apresentações devem ser focadas na clareza e na força da argumentação, conectando a ciência à inovação. Debate Mediado: Após as apresentações, o professor conduzirá uma discussão final, que servirá tanto como avaliação quanto como reflexão social. O debate será guiado por perguntas que incentivam o pensamento crítico e a conexão com o mundo real.

7. Recursos didáticos:

- Lousa e marcador de quadro branco ou giz e quadro negro;
- Caneta, lápis e borracha;
- Texto base

8. Critérios Avaliativos

Por meio de avaliação contínua, iremos analisar a capacidade do aluno de integrar diferentes saberes. O professor irá considerar: Engajamento e Colaboração: A participação individual e a contribuição para o trabalho em grupo; Qualidade da Apresentação: A clareza e a consistência da proposta; Aplicação de Conceitos: A correta utilização de termos como combustão incompleta, eficiência térmica, e degradação de açúcares; Argumentação: A capacidade de defender a proposta com base em evidências científicas e de considerar os desafios sociais e econômicos do problema.

9. Referências:

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: Carvalho, A. M. P. (org) **Ensino de Física**. Coleção Ideias em ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 53-78.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A.M.P. (Org). **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Capítulo 1, p. 1 - 20.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765 - 794, 2018.

CARVALHO, A. M. P; SASSERON, L. H. Sequências de Ensino Investigativas - SEIS: o que
os alunos aprendem? In: TAUCHEN, G. SILVA, J. A. **Educação em Ciências: epistemologias, princípios e ações educativas**. Curitiba: Editora CRV, p. 151-172, 2012.