



ALEXANDRIA

Revista de Educação em Ciência e Tecnologia

Evidências do Pensamento Químico manifestadas por Licenciandos em uma Atividade Experimental

Evidences of Chemical Thinking Manifested by Undergraduate Students in an Experimental Activity

Fernanda Garcia de Almeida^a; Fabiele Cristiane Dias Broietti^a

^a Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil - fergarciaalmeida@gmail.com; fabieledias@uel.br

Palavras-chave:

Experimentação.
Pensamento químico.
Ensino de química.
Licenciandos.

Resumo: O Ensino de Química restringe-se, muitas vezes, a uma coleção de tópicos bem definidos, o que acaba não desenvolvendo modos de pensar, habilidades para a tomada de decisão e resolução de problemas inerentes dessa ciência. Nesta investigação, elaboramos e desenvolvemos atividades experimentais investigativas realizadas em aulas remotas, buscando: i) evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestados por estudantes nestas aulas; ii) definir características das variáveis de progresso do Pensamento Químico para a atividade experimental em questão. Analisamos dados de uma atividade experimental, desenvolvida com licenciandos, referente ao tópico de conservação de massas em processos químicos seguindo os pressupostos da Análise de Conteúdo e utilizando categorias definidas a priori. A atividade elaborada permitiu que os licenciandos transitassem por algumas variáveis de progresso do Pensamento Químico, utilizando-as para interpretar situações relevantes da sociedade. Neste contexto, desenvolver o Pensamento Químico dos estudantes consiste em propor situações de aprendizagem nas quais estes tenham oportunidades de pensar, construir e usar modelos, representar sistemas e processos, gerar explicações e abordar problemas relevantes em nosso cotidiano.

Keywords:

Experimentation.
Chemical thinking.
Chemistry teaching.
Undergraduates.

Abstract: Teaching Chemistry is often restricted to a collection of well-defined topics, which ends up not developing ways of thinking, decision-making skills, and problem-solving inherent in this science. In this investigation, we designed and developed investigative experimental activities carried out in remote classes, seeking to: i) highlight aspects of Chemical Thinking manifested by students in these classes; ii) define characteristics of the Chemical Thinking progress variables for the experimental activity in question. We analyzed data from an experimental activity, developed with undergraduate students, referring to the topic of mass conservation in chemical processes following the assumptions of Content Analysis and using categories defined a priori. The developed activity allowed the undergraduates to transit through some variables of the progress of Chemical Thinking, using them to interpret relevant situations in society. In this context, developing students' Chemical Thinking consists of proposing learning situations in which they have opportunities to think, build and use models, represent systems and processes, generate explanations, and address relevant problems in our daily lives.



Esta obra foi licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Introdução

A Química é uma ciência que estuda a natureza da matéria e as transformações dela, bem como a energia envolvida nesses processos, possibilitando uma maior compreensão do mundo e dos fenômenos que envolvem a vida humana. Como exemplo, podemos citar os avanços no tratamento de doenças que se deram a partir do desenvolvimento do conhecimento químico. Além disso, a Química também tem um papel importante em muitas áreas da pesquisa científica, incluindo a Biologia, a Geologia, a Física e as Engenharias. Entretanto, muitos estudantes ainda consideram a Química uma disciplina difícil por ter uma natureza abstrata, envolver cálculos e possuir, em muitos casos, um ensino memorístico, no qual ainda predominam abordagens de ensino que apresentam a disciplina como um conjunto de tópicos isolados (PAULETTI et al., 2015).

Tal abordagem falha ao não envolver os estudantes de maneira crítica em preocupações químicas relevantes, por exemplo, o descarte adequado de materiais e as formas de evitar os efeitos dos poluentes no meio ambiente. (ZUCCO, 2011)

Talanquer e Pollard (2010) abordam que uma possibilidade a esse tipo de currículo por tópicos tem sido a abordagem da Química em contexto. Nesse modelo, o currículo é centrado em problemas do mundo real e em questões com conteúdo químico significativo. Contudo, sem desmerecer essa abordagem, os autores argumentam que tal modelo de ensino é ainda organizado e pensado como uma via para comunicar o que os químicos sabem com foco no conteúdo e nas aplicações. Os autores ainda apontam que uma alternativa seria idealizar o currículo focado em como os químicos “pensam” e em como as formas químicas de raciocínio podem ser usadas para resolver problemas significativos e reais em muitas áreas.

Sjöström e Talanquer (2018) afirmam que a Química possui uma natureza híbrida, combinando atividades científicas e objetivos tecnológicos devido à sua interseção entre essas duas áreas. Ou seja, a área da Química tem focado a busca do conhecimento científico com os objetivos tecnológicos orientados pelas necessidades e pelas condições humanas (CHAMIZO, 2013; HIRAYAMA; PORTO, 2021). Para Talanquer (2013, p. 4), “os cientistas químicos não estão apenas interessados em explicar e prever as propriedades das substâncias químicas; eles também querem transformá-las e criar entidades químicas com aplicações potenciais”. Deste modo, o ensino de Química apresenta dimensões sociais, políticas e econômicas que podem levar a reflexões fundamentais a respeito das relações entre ciência e sociedade.

Nessa perspectiva, compreender as ideias e as práticas nas quais o Pensamento Químico se baseia é, portanto, fundamental para os indivíduos que dependem de seu conhecimento químico para tomar decisões importantes na prática das profissões. As bases dessa compreensão também são relevantes para indivíduos cientificamente alfabetizados que não necessariamente seguirão carreiras que envolvam a disciplina de Química. Ao longo de

suas vidas, esses indivíduos terão que tomar decisões importantes que dependem do Pensamento Químico fundamental para responder a perguntas sobre como descartar adequadamente os resíduos materiais, quais recipientes são seguros para armazenar diferentes alimentos e quais combustíveis causam menos danos ao planeta.

Assim sendo, o que podemos dizer sobre o Pensamento Químico? Embora seja um termo que aparece na literatura de língua inglesa (Chemical Thinking), não encontramos grandes menções no cenário brasileiro. Ao fazer uma busca pelo termo “Pensamento Químico” na base de dados Periódico Capes¹, foram encontrados apenas 9 estudos, indicando ser um assunto ainda pouco explorado no contexto nacional (REZENDE; SILVA, 2022 e 2021; AFONSO et al. 2022; PEREIRA et al., 2021; MARTINS et al. 2020; DOTTI, 2018; WENZEL, 2018; LAMBACH; MARQUES, 2014; SILVA, 2009;). Ao analisar esses artigos, pode-se constatar que o termo “Pensamento Químico” ainda não é bem definido ou estruturado, sendo muitas vezes utilizado como sinônimo dos níveis de conhecimento químico proposto por Johnstone (2000, 2004), como pode ser visto no trecho a seguir: “[...] como também, torna-se importante uma melhor abordagem dos três níveis de Pensamento Químico, em especial, o nível submicroscópico (REZENDE; SILVA, 2021, p.46)”.

Na perspectiva de ampliar discussões acerca da temática, objetivamos neste estudo analisar uma atividade experimental realizada de forma remota com estudantes de um curso de licenciatura em Química no decorrer de uma disciplina de experimentação para o Ensino de Química, a fim de evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestados pelos licenciandos, com base no referencial de Talanquer e Pollard (2010).

Algumas considerações sobre o Pensamento Químico

Talanquer (2013) afirma que o currículo e as práticas educacionais devem levar em consideração os modos característicos de pensar e fazer química, visando que o estudante desenvolva as habilidades de avaliar e reconhecer os impactos políticos, econômicos, ambientais e sociais decorrentes da produção e do consumo dos produtos tecnológicos da Química. Em contraste com o tipo dominante de ensino de Química, defende-se uma educação que não inclua apenas o conhecimento do conteúdo em Química, mas também o conhecimento sobre a natureza da Química e o papel desta na sociedade.

Talanquer (2019) aborda que o Pensamento Químico envolve uma série de atividades, como analisar, discutir, refletir e propor explicações e soluções razoáveis para problemas e fenômenos relevantes. Ou seja, o Pensamento Químico se trata de um modo de pensar acerca

¹ Levantamento realizado em janeiro de 2023.

de determinadas situações que envolvem o conhecimento, o raciocínio e as práticas químicas com a intenção principal de analisar, sintetizar e transformar a matéria para fins específicos.

De acordo com o relatório *Beyond the Molecular Frontier* (2003), do National Research Council (NRC), o pensamento e as práticas químicas podem nos ajudar a resolver muitos dos problemas críticos que os humanos enfrentarão nos próximos anos. De acordo com o NRC (2003), o currículo da Química deve oferecer as seguintes oportunidades para estudantes de ciências: a) reconhecer as questões essenciais que nossos conhecimentos e práticas químicas modernas nos permitem responder; b) explorar e compreender as ferramentas teóricas e práticas que foram desenvolvidas para encontrar essas respostas; c) aplicar essas ideias e técnicas na investigação de problemas relevantes.

Com essas questões e objetivos abrangentes em mente, Vicente Talanquer e John Pollard (2010) desenvolveram e iniciaram a implementação de um currículo para um curso introdutório de Química para graduandos em Ciências e Engenharia na universidade do Arizona, nos Estados Unidos, visando ao desenvolvimento do Pensamento Químico. Essa organização curricular tinha o objetivo de conectar as ideias centrais às unidades do curso seguindo progressões de aprendizagem² bem definidas: (i) apresentar aos estudantes formas modernas de pensamento e resolução de problemas em Química; (ii) envolver os estudantes em atividades realistas de tomada de decisão e solução de problemas (SEVIAN; TALANQUER, 2014; TALANQUER; POLLARD, 2010).

O currículo para promover o Pensamento Químico na proposta mencionada foi estruturado partindo de seis conceitos disciplinares transversais considerados essenciais para que os alunos compreendam conteúdos químicos e realizem atividades práticas da Química (SEVIAN; TALANQUER, 2014). Tais conceitos podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1 – Conceitos disciplinares e suas questões centrais.

Conceitos disciplinares transversais	Questão central
Identidade química	O que é esta substância?
Relações estrutura–propriedades	Quais propriedades esta substância possui?
Causalidade química	O que faz com que esta substância mude?
Mecanismo químico	Como essa substância muda?
Controle químico	Como podemos controlar a mudança?
Benefícios-custos-riscos	Quais são as consequências de mudar a matéria?

Fonte: adaptado e traduzido de Banks et al. (2015).

As questões apresentadas na segunda coluna do Quadro 1 são perguntas relevantes a partir das quais os estudantes podem desenvolver seus entendimentos, práticas e formas de raciocínio para compreender fenômenos químicos e/ou situações de diferentes áreas ao longo

² As progressões de aprendizagem se referem a níveis de sofisticação e complexidade no conhecimento e no raciocínio dos alunos em um determinado domínio, descrevendo maneiras sucessivamente mais sofisticadas de pensar sobre um tópico (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

de suas vidas. Dependendo do contexto no qual as questões são utilizadas, elas assumem diferentes formas. Por exemplo, para a questão "O que é esse material?" (Identidade química), podemos propor questões de importância na Medicina, como: que substância tóxica foi ingerida? Nas Ciências Ambientais, as perguntas podem assumir a seguinte forma: que poluente está se acumulando na água? Nas Engenharias, a questão pode ser: como a composição desses materiais de construção diferem? Ou na Arte: que substância gera a cor deste pigmento? (CHEMICAL EDUCATION XCHANGE, 2020).

Nesta perspectiva, mesmo que muitos estudantes não tenham a pretensão de seguir na carreira como químicos, a Química se encontra difundida nas mais diversas profissões, ajudando a pensar sobre algumas situações. Embora as respostas específicas para todas essas perguntas sejam diferentes de uma situação para outra, existem ideias comuns da Química e formas de pensar que facilitam encontrar as respostas. Por exemplo, todas as questões listadas no parágrafo anterior requerem a identificação de pelo menos uma propriedade diferenciadora dos materiais que queremos identificar, isolar ou quantificar e uma estratégia experimental que nos permita medir ou tirar proveito dessa propriedade para os fins desejados, ou seja, abordamos aspectos da identidade química (CHEMICAL EDUCATION XCHANGE, 2020).

Desses conceitos transversais derivam questões mais específicas que os autores denominam por variáveis de progresso³ (VPs) do Pensamento Químico, as quais são questões centrais que os cientistas procuram responder quando praticam química, sendo essenciais no trabalho de cientistas e químicos à medida que analisam materiais, sintetizam substâncias ou transformam a matéria (BANKS et al. 2015). O Quadro 2 apresenta as 11 variáveis de progresso do Pensamento Químico e uma descrição geral de cada uma delas.

³São perguntas mais específicas das quais se espera o aprimoramento do aprendizado do aluno.

Quadro 2 – Descrição das variáveis de progresso do Pensamento Químico

VP	Descrição geral
<p>VP1 Que tipos de matéria existem?</p>	<p>Refere-se à identificação e à classificação dos diferentes tipos de matérias que existem. Classificar a identidade química de determinado material é importante para explicar e prever suas propriedades. Por exemplo, ao classificar determinado material como um metal, já se espera que ele seja um bom condutor de eletricidade e de calor.</p>
<p>VP2 Quais informações podem ser usadas para diferenciar os tipos de matéria?</p>	<p>Refere-se à diferenciação de diferentes materiais por meio de suas propriedades. Toda substância química possui pelo menos uma propriedade (temperatura de ebulição, densidade, entre outras) que a torna única, sendo possível usá-la para diferenciá-la das demais.</p>
<p>VP3 Como surgem as propriedades dos tipos de matéria?</p>	<p>Refere-se à origem das propriedades dos materiais, analisando não apenas no nível macroscópico, mas também o nível submicroscópico das estruturas.</p>
<p>VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?</p>	<p>Essa é uma questão que estabelece conexão entre estrutura química e comportamento, refletindo sobre como a composição atômica/molecular e estrutural interfere na forma de as diferentes substâncias interagem para se transformarem em outras espécies químicas.</p>
<p>VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?</p>	<p>Refere-se à busca sobre o porquê de os processos químicos acontecerem e como se iniciam, refletindo sobre os fatores que exercem influência sobre a reação química.</p>
<p>VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?</p>	<p>Refere-se aos diferentes mecanismos pelos quais uma reação pode ocorrer e aos fatores que vão exercer influência sobre os resultados obtidos.</p>
<p>VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?</p>	<p>As reações químicas exibem padrões que nos permitem classificá-las em diferentes grupos para facilitar a previsão, a explicação e o controle.</p>
<p>VP8 O que afeta as mudanças químicas?</p>	<p>Refere-se à identificação de fatores internos e externos que podem afetar os processos químicos. A identificação desses fatores e dos efeitos nas reações são muito importantes, pois permitem projetar e controlar processos químicos para fins específicos.</p>
<p>VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?</p>	<p>Envolve, de forma mais específica, entender os fatores que afetam o sistema químico e como eles o afetam para, dessa forma, compreender como é possível controlar as alterações químicas nos diferentes sistemas reacionais.</p>
<p>VP10 Como os efeitos podem ser controlados?</p>	<p>Refere-se à tomada de decisão sobre fatores internos e externos que podem ser modificados e controlados visando maximizar os benefícios e minimizar custos e riscos.</p>
<p>VP11 Quais são os efeitos do uso e da produção de diferentes tipos de matéria?</p>	<p>Refere-se à associação das identidades químicas das substâncias com seus impactos nos âmbitos social, econômico e ambiental.</p>

Fonte: adaptado e traduzido de Sevian; Talanquer, 2014.

A partir das leituras e reflexões, passamos a compreender o Pensamento Químico como um modo de os estudantes mobilizarem seus conhecimentos químicos para analisar, discutir, refletir e propor explicações para diversos problemas. Dessa forma, compreendemos que as VPs podem ser vistas como indicadores do Pensamento Químico, uma vez que tratam de questões essenciais que podem ajudar o estudante a mobilizar seu conhecimento químico para compreender fenômenos das mais diversas áreas.

A seguir, discutiremos sobre a experimentação nos pressupostos do Pensamento Químico.

Experimentação e o pensamento químico

As atividades experimentais carregam, muitas vezes, um caráter excessivamente lúdico, sendo utilizadas apenas para chamar a atenção dos alunos com cores, fumaças e explosões, ou ainda são utilizadas com a ideia simplista de comprovar a teoria na prática. É importante ressaltar que, embora muitos apreciem a experimentação, há ainda muito a ser explorado acerca do seu papel didático e de que forma ela pode contribuir para o ensino e a aprendizagem da Química (SOUZA et al., 2013).

De acordo com Suart e Marcondes (2009), as aulas experimentais são, em alguns casos, realizadas de forma acrítica e aproblemática na qual os alunos assumem o papel passivo, com pouco espaço para criar hipóteses e analisar dados, seguindo o procedimento proposto pelo professor. Para as autoras, uma aula experimental deve permitir a participação intelectualmente ativa dos alunos, pois dessa forma, além de manipular reagentes e vidrarias, o aluno deve também ter espaço para apresentar ideias, teorias, hipóteses e argumentos (SUART; MARCONDES, 2009).

Outras contribuições das atividades experimentais como ferramenta de aprendizagem são: colaborar para a formação de conceitos, o desenvolvimento de habilidades do pensamento científico, de investigação e de observação, bem como a expansão da capacidade de argumentação científica e da capacidade de reflexão sobre os fenômenos físicos a fim de que os alunos articulem os conhecimentos apreendidos e formem novos saberes (SOUZA et al., 2013).

Dentre as modalidades de experimentação, a de caráter investigativo ganha destaque, uma vez que pode proporcionar uma maior autonomia para os estudantes. De acordo com Suart e Marcondes (2009), atividades experimentais com caráter investigativo apresentam melhores indicativos nos processos de ensino e de aprendizagem do que as experimentações demonstrativas (SUART; MARCONDES, 2009. PEREIRA et al., 2017).

As atividades experimentais de caráter investigativo comumente se iniciam com uma situação-problema contextualizada que instiga o aluno a participar da investigação, refletindo

sobre o problema, formulando hipóteses que possam ajudá-lo a solucioná-lo, argumentando sobre elas, interpretando dados e, além disso, aplicando em novas situações (SOUZA et al., 2013). Essas atividades podem possibilitar que o estudante desenvolva seu Pensamento Químico, uma vez que há uma mobilização de conhecimentos químicos para interpretar fenômenos que fazem parte de sua realidade.

No que se refere ao Pensamento Químico, no currículo proposto por Talanquer e Pollard (2010), as atividades experimentais podem ser organizadas como projetos para que os estudantes investiguem determinado fenômeno. Nessa perspectiva, os alunos são divididos em pequenos grupos e devem realizar determinadas tarefas, tendo, desse modo, a possibilidade de fazer uso do Pensamento Químico com a finalidade de analisar ou sintetizar diversos produtos (TALANQUER; POLLARD, 2010).

Nesse sentido, pode-se considerar como exemplo as atividades experimentais fundamentadas na Abordagem Heurística da Escrita Científica, um modelo de registro de ideias que visa orientar ativamente os alunos, ajudando-os a entender o que estão fazendo e por que estão fazendo. Essa abordagem combina a investigação, o trabalho colaborativo e o registro de ideias, fornecendo uma estrutura para professores e estudantes realizarem atividades experimentais eficazes (BURKE et al., 2006). O Quadro 3 apresenta características que diferem a abordagem Heurística da Escrita Científica dos relatórios de laboratório tradicionais.

Quadro 3 – Características do modelo de registro de ideias pautado na Abordagem Heurística da Escrita Científica e no modelo tradicional.

Abordagem experimental tradicional	Abordagem experimental da Heurística da Escrita Científica
Título, propósito	Perguntas iniciais - Quais são minhas perguntas?
Esboço do procedimento	Testes - O que eu devo e posso fazer?
Dados e observações	Que dados eu posso obter?
Equações balanceadas, cálculos e gráficos	Provas - Como posso saber?
	Por que estou fazendo essas afirmações?
	Reflexões - Como minhas ideias se comparam com outras ideias? Como minhas ideias mudaram?

Fonte: adaptado e traduzido de Burke et al. (2006).

Percebemos que conduzir uma atividade experimental na perspectiva da Abordagem Heurística da Escrita Científica permite que o estudante desempenhe um papel mais ativo no seu processo de aprendizagem, possibilitando espaço para refletir e criar hipóteses acerca dos fenômenos e buscar meios para investigá-lo.

Na próxima seção, apresentaremos o encaminhamento metodológico que foi adotado nesse estudo.

Contexto da pesquisa e procedimentos metodológicos

O presente estudo foi realizado com 20 acadêmicos de um curso de Licenciatura em Química de uma universidade da região Sul do Brasil durante as aulas da disciplina de Instrumentação para o Ensino de Química, ofertada para o quarto ano do curso, no segundo semestre de 2020. A disciplina foi realizada de forma remota devido à suspensão das aulas presenciais em decorrência da pandemia da Covid-19, vivenciada desde março de 2020. A atividade experimental analisada neste artigo abordava a conservação de massa durante os processos químicos. A forma como a atividade foi organizada está apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Organização da atividade experimental.

Momentos	Atividades realizadas	Plataformas
Síncrono	Apresentação de uma situação-problema e as questões pré-experimento	Google Meet
Assíncrono	Os estudantes responderam à situação-problema e às questões pré-experimento	Google Classroom
Síncrono	Discussão das questões pré-experimento e apresentação das questões pós-experimento	Google Meet
Assíncrono	Os estudantes assistiram a um vídeo do experimento e responderam às questões pós-experimento	Google Classroom
Síncrono	Discussão das questões pós-experimento e retomada da situação-problema.	Google Meet

Fonte: Autores (2022).

A escolha deste assunto, sendo um dos conceitos abordados na disciplina, se deve, em certa medida, à tentativa de discutir com os futuros professores um conceito de difícil compreensão pelos estudantes, como apontado na literatura da área. Em se tratando das transformações químicas, há na literatura algumas pesquisas (ANDERSSON, 1990; MORTIMER; MIRANDA, 1995; SILVA; DEL PINO, 2016) que indicam distintas concepções dos estudantes de diferentes níveis de ensino, tais como: misturas como sinônimo de reação química; processo irreversível como critério para identificar uma transformação química; gases apenas como produtos de reações entre gases; dificuldade de compreender que há interação entre substâncias (reagentes), adotando-se a ideia de que uma substância específica (agente ativo) atua sobre outra (agente passivo); dificuldades envolvendo o raciocínio de conservação da massa.

A coleta de dados ocorreu por meio das respostas dadas pelos estudantes para as questões pré e pós-experimento. Na sequência apresentamos a situação-problema, as questões pré-experimento e as variáveis de progresso esperadas para cada questão (Quadro 5).

Quadro 5 – Situação-problema proposta e questões pré-experimento.

Ao queimar a madeira, podemos notar a formação de cinzas. Essas cinzas são compostas por uma grande quantidade de nutrientes, o que permite o uso como fertilizantes para o solo. Miguel é dono de uma pizzaria famosa pelo sabor diferenciado de suas pizzas assadas em forno à lenha. Devido ao grande número de pizzas assadas por dia, Miguel queima em seus fornos uma grande quantidade de lenha, o que resulta em uma grande quantidade de cinzas. Ao saber que as cinzas podem ser utilizadas como fertilizantes, Miguel resolveu vendê-las para um agricultor local por 5 reais o quilograma de cinza. Dessa forma, para cada quilograma de lenha queimado, Miguel espera produzir 1 quilograma de cinza. Porém, não foi isso que ele obteve. Com base nessas informações, responda às seguintes perguntas pré-experimento:

Questões pré-experimento	VPs esperadas
1. Qual a questão principal do texto?	VP6
2. Por que você considera que Miguel não obteve a mesma quantidade de cinzas para cada quilograma de lenha queimada?	VP6; VP4
3. Imagine a seguinte situação: em uma balança simples (culinária), queima-se 10g de determinados materiais e monitora-se simultaneamente o que acontece com o valor de massa medido. O que você acha que aconteceria com o valor da massa caso os materiais fossem: a) papel; b) algodão; c) esponja de aço. Explique.	VP4; VP7
4. Há alguma possibilidade de realizar a queima de um material e não observar diminuição ou aumento do valor medido pela balança? Justifique.	VP9

Fonte: Autores (2022).

O Quadro 5 contém as variáveis de progresso esperadas nas respostas dos estudantes para cada questão. Como exemplo, para a questão 3 do momento pré-experimento, esperava-se encontrar as VP4 e VP7. Dessa forma, para responder essa questão, almejava-se que os estudantes considerassem as diferentes matérias que constituem o papel, o algodão e a palha de aço e como elas podem influenciar na reatividade (VP4) e que apontassem as interações que ocorrem com os diferentes materiais (VP7).

Na continuidade da aula, as respostas para as questões pré-experimento foram discutidas no coletivo. Em seguida, foi sugerido um vídeo de um experimento científico juntamente a outras questões pós-experimento. As questões e as variáveis de progresso esperadas são apresentadas no Quadro 6. O vídeo, disponível para livre acesso no YouTube⁴, foi editado, deixando apenas a execução do experimento. O experimento apresentado no vídeo consistia em uma balança de dois pratos na qual eram colocados, dos dois lados, de modo a manter o equilíbrio, diferentes materiais, sendo estes o papel, o algodão e a palha de aço. Após a balança ser equilibrada, queimava-se o material presente em um dos lados para observar o que acontecia com o equilíbrio da balança.

⁴O vídeo pode ser acessado no seguinte site:

https://www.youtube.com/watch?time_continue=17&v=qQGSniZ4e3k

Quadro 6 – Questões pós-experimento

Questões pós-experimento	VPs esperadas
1. O que você observou no vídeo com o experimento?	-
2. Por que o papel e o algodão apresentam comportamentos iguais quando queimados?	VP4
3. Como você justificaria o comportamento diferente da palha de aço em relação ao papel e ao algodão?	VP4; VP7
4. Com base no que foi observado no vídeo experimental, você mudaria sua resposta dada para a questão 4 do momento pré-experimento?	VP9
5. Com base no que você observou no vídeo experimental, mudaria sua resposta dada para a questão 2 do momento pré-experimento?	VP4; VP6

Fonte: Autores (2022).

As respostas dos estudantes para as questões pré e pós-experimento constituíram o *corpus* deste estudo. Os dados foram analisados seguindo os pressupostos da Análise de Conteúdo descrita por Bardin (2011), metodologia que se divide em três etapas: (i) pré-análise; (ii) exploração do material; e (iii) tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Na pré-análise, tendo em vista os objetivos do estudo, são escolhidos os documentos a serem analisados. Durante a exploração do material, ocorre a codificação e a categorização. Em nosso estudo, usamos códigos de A1 até A20 para nos referirmos às respostas dos estudantes. Em respostas nas quais foram identificadas VPs diferentes, os trechos foram fragmentados da seguinte forma A1.1, A1.2, A1.n... Na etapa de categorização, as unidades de análise são agrupadas em categorias, as quais permitem as inferências. Neste estudo, ao buscar por aspectos do Pensamento Químico manifestados pelos estudantes por meio da realização da atividade experimental e caracterizar as variáveis de progresso para a atividade em questão, adotamos como categorias *a priori* as 11 variáveis de progresso pertencentes ao referencial teórico do Pensamento Químico. Por fim, a última etapa consistiu na realização de inferências e interpretações do fenômeno em estudo, etapa apresentada na próxima seção.

Resultados e discussão

Organizamos nossas análises em quadros distintos, analisando as respostas dos estudantes para cada uma das questões propostas. Cada quadro é composto por quatro colunas, sendo que na primeira coluna apresenta-se a variável de progresso do Pensamento Químico evidenciada nas respostas dos estudantes; na segunda coluna há uma descrição de cada VP; na terceira coluna apresentam-se alguns exemplos de respostas; e na última coluna a ocorrência da VP nas respostas dos estudantes para determinada questão. A soma das ocorrências não totaliza o número de respostas dadas, uma vez que foram identificadas mais

de uma VP na mesma resposta. Apresentamos no Quadro 7 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 7 – VP identificada nas respostas para a Questão 1 pré-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam a questão principal do texto e possíveis causas para a problemática.	[A7] <i>O processo de combustão da lenha e a frustração do Miguel em não conseguir o rendimento esperado na queima (VP6).</i>	20

Fonte: Autores (2022).

A primeira questão do momento pré-experimento questionava os estudantes sobre qual era a questão principal abordada. Identificamos a VP6 na resposta de todos os estudantes, uma vez que, em suas respostas, eles buscaram identificar o problema apresentado e possíveis causas para o fenômeno descrito na situação-problema, identificando, dessa forma, o assunto principal abordado. Os estudantes indicaram compreender que a situação-problema abordava aspectos de uma reação de combustão e o seu rendimento, contudo não mencionaram o princípio da conservação das massas, fato esperado por haver, até o momento, respostas mais gerais e menos específicas.

Para a segunda questão [*Por que você considera que Miguel não teve a mesma quantidade de cinzas para cada quilograma de lenha queimada?*], foram evidenciadas, nas respostas dos estudantes, as seguintes variáveis de progresso: VP4, VP6, VP7 e VP8.

Na Questão 2, questionava-se sobre o processo de queima da madeira e hipóteses sobre o porquê a massa das cinzas obtidas ao final serem diferentes da massa inicial de lenha queimada. A respeito dessa questão, consideramos que o processo de queima pode ocorrer por meio de dois mecanismos: aberto ou fechado. Nesse viés, evidenciamos a VP6, que diz respeito à causalidade e ao mecanismo, questionando o que determina o resultado das mudanças químicas. Outro ponto a ser considerado é a composição da madeira. Uma vez que o material é composto por matéria orgânica, a queima resultará na liberação de gases, como CO₂ e vapor de água. Dessa forma, evidenciam-se características da VP4, que questiona como a estrutura influencia a reatividade. Apresentamos no Quadro 8 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 8 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 2 pré-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Respostas em que os estudantes se reportam à composição da madeira, identificando a composição como um fator que justifica a diferença de massa obtida.	[A9.1] <i>A lenha pode ter sido de matérias-primas diferentes, pois cada madeira tem sua composição química [...]</i>	2
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam o mecanismo reacional, buscando possíveis causas que afetam os resultados obtidos em um processo químico.	[A12] <i>Porque, ao ser queimada, a madeira sofre um processo químico, e suas propriedades são modificadas. Consequentemente, tem-se a alteração da massa (VP6).</i> [A4] <i>Porque a lenha também libera gás carbônico e água em sua queima, e quanto mais CO₂ e H₂O liberado, menos cinzas é obtido]</i>	18
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes apontam sobre possíveis interações que ocorrem no sistema.	[A5.1] <i>Miguel não terá a mesma quantidade [de massa], pois, ao queimar a madeira, o carbono reage com o oxigênio do ar, liberando CO_{2(g)}</i>	3
VP8 O que afeta as mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes elencam outros fatores que podem interferir no processo de queima, como algum problema no forno ou controle de temperatura durante a queima	[A9.2] <i>[...]também pode ter tido um problema no forno, como algum desgaste ou rachadura, que implicaria a diferença de calor exposto na lenha ou também a falta de uma regulagem de temperatura para o controle da queima dessa lenha.</i>	1

Fonte: Autores (2022).

A VP6 foi a mais identificada, sendo evidenciada nas respostas de 18 estudantes, quando estes apontam o mecanismo reacional ao buscar possíveis causas que afetem os resultados obtidos em um processo químico. Identificamos respostas que apontam diferentes causas, como: o processo de combustão ocorrer por meio de mecanismos distintos, sendo este um processo completo ou incompleto. Encontramos também respostas pautadas na ideia de que a madeira passa por uma transformação química, sendo esta a causa de a massa obtida ser diferente antes e após a queima. Ainda identificamos respostas se referindo à formação de produto gasoso na reação, sendo um fator determinante para o resultado obtido, ou seja, a variação da massa final quando comparada à massa inicial.

A VP7 foi identificada nas respostas de 3 estudantes quando eles apontam sobre possíveis interações que ocorrem no sistema. Assim, ao mencionar a interação entre o carbono e o oxigênio, identifica-se a VP7, que questiona quais padrões de interação são estabelecidos.

A VP4 aparece nas repostas de 2 estudantes que constroem seus raciocínios mencionando a composição da madeira e identificando a composição como um fator que justifica a diferença de massa obtida, caracterizando a VP4. Além disso, um estudante elenca

outros fatores que podem interferir no processo de queima, como algum problema no forno ou no controle de temperatura durante a queima, caracterizando a VP8.

Percebemos que, para essa questão, foram encontradas respostas sobre estrutura química e comportamento, interações presentes no sistema, fatores que podem interferir no processo em questão e modos de controlar determinados processos químicos. Nesse primeiro momento, evidenciamos que apenas dois estudantes abordaram sobre a composição dos materiais para responder a situação-problema, sendo esperado um aumento da ocorrência dessa variável (VP4) no decorrer da atividade. Evidenciamos ainda nas respostas dos estudantes outras VPs, além das esperadas para essa questão, sendo essas a VP7 e VP8.

A Questão 3 versava sobre o que aconteceria com a massa do sistema ao queimar diferentes materiais, sendo estes o papel, o algodão e a palha de aço.

Apresentamos no Quadro 9 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 9 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 3 pré-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o aumento ou a diminuição da massa.	[A3.1] <i>O papel e o algodão vão perder peso, porque são feitos de carbono, hidrogênio e oxigênio [...]</i> [A13.1] <i>Papel e algodão as massas diminuem, pois são compostos de origem orgânica [...]</i>	8
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A1] <i>Os valores das massas dos materiais a), b) e c) dependeriam da quantidade de carbono disponível e do tipo da queima realizada neles. Uma maior quantidade de carbono e uma queima incompleta iriam proporcionar mais cinzas e fuligens [...]</i>	14
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A3.2] <i>[...] Já a esponja de aço vai aumentar a massa [do sistema] devido à reação que o ferro vai fazer com o oxigênio e à formação de óxido de ferro, que tem massa molecular maior que o ferro.</i>	5

Fonte: Autores (2022).

Foi possível identificar 3 diferentes variáveis de progresso do Pensamento Químico, nas respostas dos estudantes para a Questão 3, sendo estas a VP4, a VP6 e a VP7.

A Questão 3 possibilita que o estudante reflita sobre como a composição do material a ser queimado influenciará o produto formado, remetendo à VP4, que questiona como a estrutura influencia a reatividade. Para além disso, essa questão também permite explorar as possíveis interações que se estabelecem no sistema, como a reação entre o gás oxigênio e o ferro para formação de óxidos, remetendo à VP7, que questiona quais interações são estabelecidas.

A maioria das respostas apresenta aspectos da VP6, por exemplo, quando os estudantes abordam que a diminuição de massa para o papel e o algodão se dá pela liberação de gases e que ocorrerá aumento de massa para a palha de aço devido à formação de óxido, ou

seja, a VP6 é evidenciada quando os estudantes apontam uma causa. Em oito respostas, encontramos aspectos da VP4, quando os estudantes relacionam a perda de massa no sistema contendo papel e algodão devido às composições. A VP7 também foi identificada em 5 respostas, quando os estudantes apresentam as interações que se estabelecem no sistema, por exemplo, mencionando que o aumento da massa no sistema contendo palha de aço se deve à reação entre o ferro e o oxigênio, formando óxido.

A Questão 4 aborda a possibilidade de realizar a queima de um material e não observar variação na massa medida por uma balança. Desse modo, a questão possibilita que o estudante reflita se há formas de controlar o processo e não identificar mudança no valor medido na balança, caracterizando a VP9, que questiona como as alterações químicas podem ser controladas. Apresentamos no Quadro 10 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 10 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 4 pré-experimento.

VP	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a variação da massa.	[A10] <i>A queima do material irá resultar em um aumento ou uma perda de matéria devido à decomposição dos componentes que não ficam no sistema ou que apresentam maior massa em relação aos componentes iniciais.</i>	1
VP8 O que afeta as mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes elencam fatores que podem interferir no processo químico.	[A9.2] <i>Então, dispondo de um forno correto, feito de material ideal favorável para o processo, de controle de temperatura, de exposição específica do material ao calor e de um material livre de contaminantes ou qualquer outra substância conjunta em sua estrutura que interfira neste processo</i>	1
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	Trechos em que os estudantes mencionam como controlar o sistema.	[A4] <i>Sim, em um sistema fechado, a massa anterior à combustão e a posterior à combustão deve ser a mesma.</i> [A6] <i>Segundo a lei de Lavoisier, a massa sempre é conservada durante as reações, [...] se estivéssemos em um sistema fechado e soubéssemos a quantidade de oxigênio presente no mesmo, se queimássemos papel e conseguíssemos pesar esse sistema todo inicialmente e após a reação, teríamos a conservação da massa.</i>	16

Fonte: Autores (2022).

Para essa questão, um estudante (A18) respondeu não saber explicar, e outro (A8) apresentou equívocos conceituais ao justificar que, com a lei de conservação de massas, não é possível realizar uma reação e não observar variação de massa. Entretanto, segundo essa lei, não se deve observar mudanças no valor das massas, dos reagentes e dos produtos, durante um processo desde que a reação seja realizada em um sistema fechado (BROWN et al., 2008).

Dezesseis estudantes apresentam respostas mencionando que há meios de realizar a queima sem observar variação de massa, sendo possível identificar a VP9. Respostas que apresentam esta variável mencionam como controlar o sistema, uma vez que, em sistemas fechados, em que não há trocas com o meio externo, a massa deve ser conservada.

Para esta questão, também identificamos aspectos da VP6 em uma resposta, quando o estudante menciona que a variação de massa ocorrerá devido à decomposição de componentes do sistema, relacionando-se à causalidade. Também foi identificada uma resposta com indícios da VP8, em que o estudante menciona fatores mais específicos que podem interferir no processo químico, como a temperatura e o forno correto.

Nas respostas para as questões pré-experimento, observou-se que os estudantes transitaram por diferentes VPs do Pensamento Químico, mencionando em suas respostas aspectos relacionados à estrutura química e ao comportamento do material; causas que provocam a variação na conservação das massas em transformações químicas; fatores que exercem influência nos processos de combustão; padrões de interação que se estabelecem nas reações de combustão e controle dos processos químicos. Evidenciamos que em 16 trechos de respostas os estudantes mencionam sobre como controlar o sistema, contudo enfatizamos que apenas um dos estudantes aborda explicitamente sobre a lei de Lavoisier (A6), sendo esse um resultado esperado, visto que discussões prévias sobre o assunto não foram realizadas. Evidenciamos também a presença de VPs além das previstas para essa questão, sendo essas as VP6 e VP8, indicando que a questão permite que o estudante explore outras variáveis do Pensamento Químico.

Na sequência, passamos a discutir as respostas dos estudantes para as questões pós-experimento. Vale considerar que, para responderem a essas questões, eles já haviam discutido coletivamente as respostas do momento pré e assistido ao vídeo com o experimento proposto pela docente.

Na Questão 1 do momento pós-experimento, os estudantes deveriam se manifestar sobre as suas observações em relação ao vídeo do experimento. Para essa questão, dezenove dos vinte estudantes descrevem o observado, e um dos estudantes apresentou resposta na qual foi possível identificar, além da descrição, evidências da VP6, apontando causas que provocam a variação da massa nos sistemas analisados, como pode ser visto no Quadro 11.

Quadro 11 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 1 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
-	Estudantes apresentam respostas descritivas.	[A5] <i>Que os materiais, ao entrarem em combustão, podem ter sua massa aumentada ou diminuída. O papel e o algodão, ao entrarem em combustão, têm a massa diminuída, a balança “sobe”. E a palha de aço tem sua massa aumentada, a balança “desce”.</i>	19
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que o estudante aponta causas que provocam a variação da massa nos sistemas analisados.	[A6] <i>Ao queimar o papel, a balança perdia seu equilíbrio. O lado com o papel sendo queimado foi elevado, pois a massa diminuiu. Ademais, para o algodão ocorreu o mesmo processo, o lado queimado diminui a massa e eleva-se. Porém, para a queima da palha de aço, em que há a formação de um óxido por meio do processo de queima, a massa aumenta e esse lado desce, representando um aumento da massa final.</i>	1

Fonte: Autores (2022).

A Questão 2 abordava o porquê de o papel e o algodão apresentarem comportamentos semelhantes quando queimados. Assim, a questão possibilitava que os estudantes relacionassem a composição desses materiais para propor uma explicação ao observado.

Apresentamos no Quadro 12 uma descrição das VPs e exemplos de respostas. Foi possível identificar quatro diferentes variáveis, sendo estas VP4, VP5, VP6 e VP7. A VP6 e a VP4 foram as variáveis mais identificadas nas respostas, em 80% delas, quando os estudantes identificam que houve a liberação de gases (CO_2 e H_2O) e que isso é um fator determinante para a diminuição da massa do sistema final, caracterizando, assim, a VP6. Quando os estudantes identificam semelhanças entre a composição dos materiais e as consideram para elaborar sua resposta, justificando o aumento ou a diminuição da massa do sistema, evidencia-se a VP4. A VP5 foi identificada em uma resposta no momento em que o estudante demonstra compreender que o fogo é o componente que inicia a reação de combustão. A VP7 foi evidenciada em trechos das respostas nos quais os estudantes abordam a reação dos materiais com o gás oxigênio do ar, refletindo sobre as interações que ocorrem no sistema.

Quadro 12 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 2 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento do sistema analisado.	[A5.1] <i>Ambos [algodão e papel] são constituídos, principalmente, de carbono.</i>	16
VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes mencionam fatores que exercem influência sobre a reação química.	[A5.2] <i>Assim, em contato com o fogo, há a reação de queima e a liberação de CO_2 e H_2O, além de sobrar cinzas na balança.</i>	1
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A5.3] <i>Por isso que a balança “sobe”, a massa do que sobrou no recipiente é menor do que no momento inicial.</i> [A6.2] <i>[...] de forma que parte de sua massa seja perdida em forma de CO_2.</i>	16
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A6.1] <i>Porque ambos [algodão e papel] reagem com o oxigênio presente na atmosfera.</i>	2

Fonte: Autores (2022).

A terceira questão aborda o comportamento diferente da palha de aço em relação ao papel e ao algodão ao serem queimados. Essa questão possibilita pensar sobre a composição dos materiais e como essa composição influencia a reatividade, caracterizando a VP4. Permite também que o estudante pense sobre quais interações são estabelecidas nesse sistema, caracterizando a VP7. Apresentamos no Quadro 13 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 13 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 3 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento do sistema analisado.	[20.1] <i>O papel e o algodão são constituídos predominantemente de compostos de carbono.</i>	11
VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes mencionam fatores que exercem influência sobre a reação química.	[A2] <i>O oxigênio é um oxidante. A palha de aço, ao ser queimada, sofre um processo de oxidação acelerada, pois o fogo é a ignição para acelerar o processo oxidativo.</i>	1
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A20.3] <i>[...] os gases liberados no ambiente, tornando a massa do sistema menor.</i>	11
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A20. 2] <i>assim, em uma reação de combustão, os átomos de carbono reagem com o oxigênio, produzindo CO₂.</i>	14

Fonte: Autores (2022).

Para essa questão, apenas três estudantes não apresentaram respostas nas quais foi possível identificar alguma das VPs esperadas. No decorrer da análise para essa questão, foram identificadas quatro variáveis de progresso, sendo estas VP4, VP5, VP6 e VP7.

Na resposta do estudante A20, identificamos VP4, VP6 e VP7. O estudante menciona a diferença entre as composições dos materiais, relacionando-as ao comportamento observado durante a queima, caracterizando a VP4. Ideia semelhante foi evidenciada em trechos de respostas de outros 10 estudantes. O mesmo estudante (A20) também menciona mecanismos da reação de combustão, caracterizando a VP7, ideia também presente em outras 13 respostas, e, por fim, o estudante relaciona que a natureza do produto formado (neste caso, gases ou óxidos) é um fator determinante para o que se observa na balança, caracterizando a VP6, raciocínio semelhante ao de outros 10 estudantes. Por fim, a VP5 aparece em apenas 1 resposta, quando o estudante identifica o fogo como o fator que impulsiona a mudança química observada, formulando sua resposta a partir desse raciocínio.

A Questão 4 se refere a uma autoavaliação da resposta fornecida para a Questão 4 do momento pré-experimento. Apresentamos no Quadro 14 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 14 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 4 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento do sistema analisado.	[A2.2] <i>Para materiais constituídos de carbono, hidrogênio e oxigênio [haverá diminuição da massa após a queima] e aumento da massa para metais facilmente oxidantes.</i>	1
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A10.1] <i>[...] em uma combustão, ocorrerá perda devido à formação de gases ou ganho de massa devido à formação de produtos com massa maior.</i>	6
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A10.2] <i>Como no caso da incorporação do oxigênio do ar nos metais, formando óxidos.</i>	1
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	Trechos em que os estudantes mencionam como controlar o sistema.	[A18] <i>Acredito que, após analisar o experimento, só será possível não observar o aumento ou a diminuição do valor medido na balança se o sistema em que ocorre a reação for fechado.</i>	15

Fonte: Autores (2022).

O estudante A18 havia respondido inicialmente não saber explicar como seria possível realizar um processo químico e não observar variação da massa, contudo, para a questão pós-experimento, demonstra compreender a ideia de conservação de massa em reações químicas, desde que esta seja realizada em um ambiente fechado. Trechos em que os estudantes mencionam como controlar o sistema reacional (VP9) foram identificados em 75% das respostas analisadas.

A VP6 foi evidenciada em respostas nas quais os estudantes abordam que a variação da massa medida pode ocorrer devido à formação de gases ou de produtos com maior massa (referindo-se aos óxidos), uma vez que os estudantes apontam possíveis causas para explicar o fenômeno investigado. A VP4 e a VP7 foram identificadas em apenas uma resposta cada, quando os estudantes se referem à composição dos materiais e quando mencionam as interações que se estabelecem no sistema, respectivamente.

A Questão 5 também se refere a uma autoavaliação das repostas fornecidas para a Questão 2 do momento pré-experimento [*Por que você considera que Miguel não teve a mesma quantidade de cinzas para cada quilograma de lenha queimada?*].

Apresentamos no Quadro 15 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 15 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 5 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Respostas em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento ao ser queimado.	[A1.1] [...] o experimento possibilitou que identificássemos que em uma reação de combustão um material comburente contendo carbono em sua composição tem massa menor [após ser queimado].	7
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A1.3] por ter como um dos produtos o gás carbônico “perdido” para o ambiente.	18
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A20.1] Um dos materiais quando queimado reage com o oxigênio do ar, formando compostos óxidos.	3
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	Trechos em que os estudantes mencionam como controlar o sistema.	[A1.2] e o experimento sendo executado em um ambiente aberto.	7

Fonte: Autores (2022).

Em 18 respostas, encontramos indício da VP6, trechos em que os estudantes buscam explicitar as causas do fenômeno observado, seja pela formação de produtos gasosos ou formação de óxidos. Em sete respostas, os estudantes citam a composição do material como determinante para o que se observa, caracterizando a VP4.

A VP9 é evidenciada em sete respostas, quando os estudantes mencionam fatores que podem controlar o sistema, ou seja, o fato de o experimento ser realizado em ambiente aberto ou fechado. Além disso, alguns estudantes abordam as interações que ocorrem no sistema, o que caracteriza a VP7.

Analisando as informações expostas, é possível inferir que a atividade elaborada permitiu que os estudantes transitassem por algumas variáveis de progresso, mobilizando aspectos do Pensamento Químico. Dentre eles, destacam-se aspectos relacionados à composição dos materiais; a fatores que exercem influência sobre a reação química; a possíveis causas que afetam os resultados obtidos em um processo químico; a interações que ocorrem no sistema; a fatores externos que podem interferir no processo químico e a como controlar o sistema reacional. Além disso, podemos também inferir que as questões elaboradas na atividade permitiram que os estudantes explorassem de forma mais ampla o seu Pensamento Químico, uma vez que foram encontradas nas respostas dos estudantes VPs além das previstas, permitindo-os refletir sobre o fenômeno a partir de diferentes perspectivas.

A Figura 1 apresenta, de maneira esquemática, a forma como o estudo foi organizado de modo a evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestadas por estudantes em uma atividade experimental envolvendo reações de combustão e o conceito de conservação de massa.

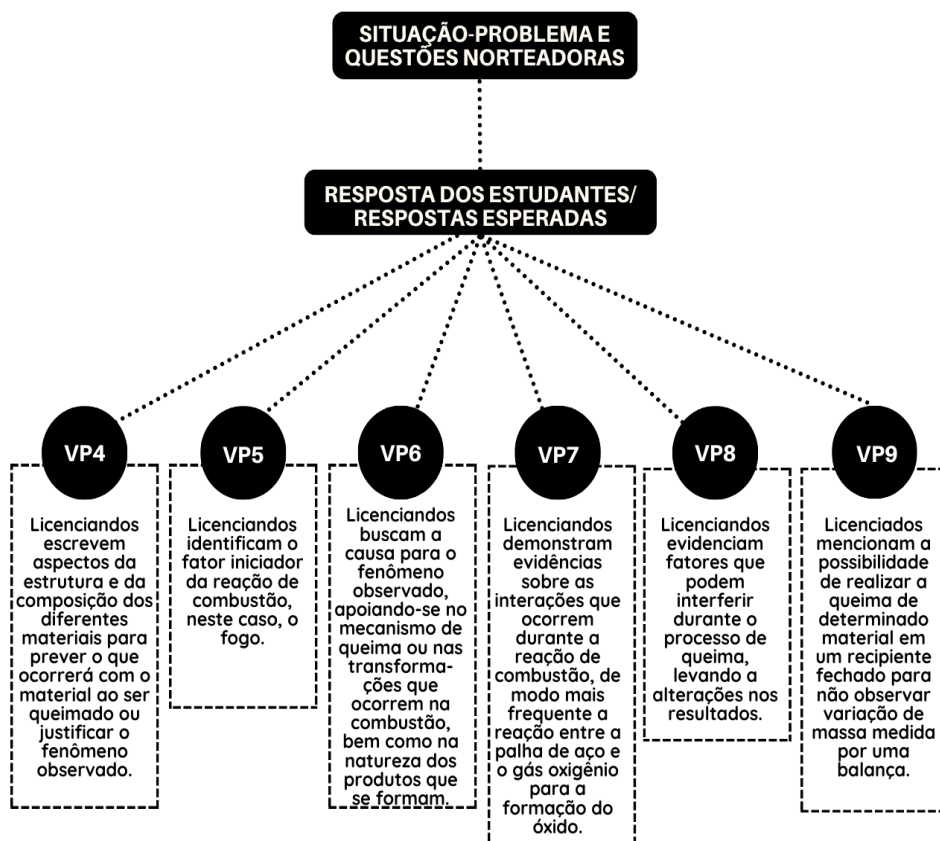


Figura 1 – Esquema representativo da organização do estudo buscando evidenciar e caracterizar aspectos do Pensamento Químico.

Fonte: Autores (2022).

As variáveis de progresso do Pensamento Químico foram utilizadas como lentes que nos ajudaram a evidenciar aspectos para analisar química e criticamente determinado fenômeno, levando em consideração não apenas conteúdos químicos, mas maneiras de pensar e de fazer dos químicos, não se restringindo a explicar como a matéria muda, mas ampliando para os processos de sintetizar novas substâncias ou como controlar processos em nosso ambiente (Talanquer, 2013). A partir da identificação das variáveis de progresso nas respostas analisadas, foi possível constatar características em comum entre os diferentes trechos nos quais foram identificadas as variáveis, o que amplia nosso entendimento sobre aspectos do Pensamento Químico.

O Quadro 16 apresenta a ocorrência de cada variável de progresso nas respostas dos estudantes.

Quadro 16 – Ocorrência das VPs identificadas ao longo da atividade.

VP	Descrição	Pré-experimento	Pós-experimento	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Licenciandos escrevem aspectos acerca da estrutura e composição dos diferentes materiais para prever o que ocorrerá com o material ao ser queimado ou justificar o fenômeno observado.	10	35	45
VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?	Licenciandos identificam o fator iniciador da reação de combustão, neste caso, o fogo.	-	2	2
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Licenciandos buscam a causa para o fenômeno observado, apoiando-se no mecanismo de queima ou nas transformações que ocorrem na combustão, bem como na natureza dos produtos que se formam.	53	52	105
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Licenciandos demonstram evidências sobre as interações que ocorrem durante a reação de combustão, de modo mais frequente a reação entre a palha de aço e o gás oxigênio para a formação do óxido.	8	20	28
VP8 O que afeta as mudanças químicas?	Licenciandos evidenciam fatores que podem interferir durante o processo de queima levando a alterações nos resultados.	2	-	2
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	Licenciandos mencionam sobre a possibilidade de realizar a queima de determinado material em um recipiente fechado para não observar variação de massa medida por uma balança.	16	22	38

Fonte: Autores (2022).

Evidenciamos que o roteiro proposto permitiu que os estudantes explorassem distintas VPs, sendo a variável de progresso VP6 a que apareceu com maior frequência nas respostas dos licenciandos, seguida da VP4, VP9 e VP7. Dessa forma, inferimos que no decorrer da atividade os estudantes tiveram a oportunidade de buscar causas que explicassem o fenômeno descrito na situação-problema, relacionando com a natureza dos materiais e suas propriedades, bem como refletir sobre as interações que ocorreram no sistema e sobre formas de controlar o sistema. Destacamos que a disciplina na qual foi desenvolvida esta atividade também contava com outras atividades experimentais elaboradas neste formato, explorando distintas VPs, como apresentado no trabalho de Almeida e Broietti (2023), no qual as autoras apresentam resultados da análise de uma atividade experimental a respeito do conceito químico de densidade, em que os estudantes exploraram as VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, VP6, VP7, VP8 e VP11.

O roteiro proposto também permitiu que os estudantes explorassem de forma ampla o Pensamento Químico, visto que, para as diversas questões, evidenciam-se em suas respostas VPs além das previstas. Além disso, no momento pós-experimento, percebe-se que os estudantes apresentam um maior número de VP em suas respostas, como pode ser evidenciado na VP4 e a VP7, sendo este um indicativo de que a atividade e as discussões realizadas permitiram que os estudantes relacionassem a estrutura e as propriedades dos materiais com a problemática inicial, bem como as interações que ocorrem no sistema. Destacamos que, por se tratar de um curso de nível superior, os estudantes, no momento pré-experimento, já apresentaram respostas em que foi possível evidenciar aspectos do Pensamento Químico, apresentando-os de forma mais articulada nas respostas para as questões pós.

Banks e colaboradores (2015) evidenciam que, muitas vezes, os estudantes avaliam e julgam os fenômenos a partir de suposições intuitivas. Os autores ainda abordam que tais suposições devem ser elucidadas e discutidas nas salas de aula a fim de que o estudante tenha a oportunidade de alinhá-las ao Pensamento Químico moderno.

No decorrer da atividade proposta, observamos que no momento pré-experimento muitos estudantes ainda apresentaram respostas com características intuitivas, ou seja, não relacionam a situação-problema com o conhecimento de processos químicos e de conservação de massas. Contudo, ao longo das aulas, com a discussão coletiva das respostas iniciais e com o recurso do vídeo do experimento, bem como a proposição das questões ao longo da atividade, notou-se que os estudantes conseguiram fazer uso do Pensamento Químico para relacionar o conceito de conservação de massas à questão-problema, uma vez que, no momento pós, aparecem nas respostas dos estudantes menções relativas ao raciocínio da conservação de massa, bem como a formação de gases, justificando a diminuição da massa no sistema após a queima e a interação entre o metal e o oxigênio do ar, formando óxidos, justificando o aumento da massa, no caso da combustão da palha de aço.

Neste sentido, concordamos com Talanquer (2013, p. 1766) ao mencionar que devemos “compreender a química como uma maneira poderosa de pensar sobre o mundo material e transformar a natureza”, sendo este um dos objetivos centrais da aprendizagem da Química escolar.

O mesmo autor ainda ressalta que a abordagem da Química escolar não implica ensinar Química como um ofício no qual os alunos simplesmente aprendem um conjunto de procedimentos ou técnicas para resolver problemas práticos, sem muita compreensão significativa das ideias centrais subjacentes ou reflexão sobre os processos reais. Nesta perspectiva, conceitos, ideias e modelos químicos centrais devem ser analisados e discutidos

no contexto de abordar os diferentes tipos de desafios para os quais o Pensamento Químico constitui a melhor abordagem para resolver os problemas.

Destacamos que a proposta é uma alternativa profícua para desenvolver atividades experimentais não apenas no ensino remoto, mas também em escolas que não apresentam recursos de laboratório, apresentando potencial para permitir o uso e o desenvolvimento do Pensamento Químico e promover o ensino investigativo.

Em seus estudos a respeito do desenvolvimento de um currículo pautado na promoção do Pensamento Químico, Talanquer e colaboradores ainda abordam a necessidade de entender de modo mais aprofundado como se dá a progressão do Pensamento Químico ao longo do tempo de escolaridade. Os autores destacam que a avaliação da progressão do Pensamento Químico pode ser feita a partir de duas dimensões principais: a sofisticação conceitual e os modos de raciocínio (BANKS et al., 2015; SEVIAN; TALANQUER, 2014). A sofisticação conceitual pode ser entendida como a natureza das suposições dos alunos sobre a estrutura e as propriedades das entidades e fenômenos químicos. Os modos de raciocínio relacionam-se a complexidade do raciocínio do aluno em termos da sua capacidade de conectar ideias, construir justificativas, tomar decisões e construir explicações sofisticadas. Destacamos que compreender acerca de como as VP podem ser classificadas em termos de profundidade faz parte do nosso interesse de pesquisas futuras.

Considerações finais

Nesta investigação, buscamos responder ao seguinte questionamento: como identificar evidências do Pensamento Químico manifestadas por licenciandos ao longo de atividades experimentais investigativas realizadas em aulas remotas? Nesse sentido, estabelecemos alguns objetivos específicos: i) evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestadas por estudantes nestas aulas; e ii) definir características das variáveis de progresso do Pensamento Químico para a atividade em questão. Para tal, analisamos dados de uma atividade experimental referente ao tópico de conservação de massas em processos químicos, seguindo os pressupostos da Análise de Conteúdo e utilizando categorias definidas *a priori*, sendo estas as 11 variáveis de progresso estabelecidas por Banks e colaboradores (2015).

Diante das análises realizadas, observamos que a atividade desenvolvida permitiu que os estudantes transitassem por distintas variáveis de progresso do Pensamento Químico ao responderem às questões propostas, utilizando o conhecimento, o raciocínio e as práticas da Química para comunicarem suas compreensões acerca do fenômeno em questão, neste caso, o estudo da conservação de massa em reações químicas.

As atividades experimentais, nesta perspectiva, são planejadas para que os estudantes não apenas apliquem, mas aprofundem e expandam a compreensão das ferramentas

intelectuais e de práticas que os químicos modernos usam para analisar, sintetizar, transformar e modelar substâncias químicas que desempenham papéis importantes em nossas vidas diárias.

Neste sentido, consideramos que aprender Química envolve muito mais que tratar do equilíbrio de equações, resolver problemas de estequiometria, construir configurações eletrônicas ou escrever estruturas de Lewis. Compreender a Química é uma busca por revelar a identidade das substâncias, compreender a diversidade no mundo material e biológico, explicar semelhanças e diferenças e transformar a natureza (NRC, 2003). Por esta razão, além das múltiplas aplicações e da relevância da Química na sociedade moderna — que certamente os estudantes devem reconhecer, compreender e apreciar —, possibilitar o desenvolvimento do Pensamento Químico consiste em promover situações que coloquem nossos estudantes frente a outras maneiras de olhar e de pensar sobre o mundo.

Assim, defendemos uma aprendizagem em Química com foco no desenvolvimento do Pensamento Químico, ou seja, em possibilitar aos estudantes desenvolver os principais entendimentos, práticas e formas de raciocínio da Química. Para tornar isso possível, faz-se necessário planejar atividades que oportunizem aos estudantes se engajarem ativamente na busca de respostas para perguntas significativas, tornando o pensamento deles visível ao manifestar suas ideias.

Destacamos ainda que, discutir tais potencialidades das atividades experimentais na formação de professores pode contribuir para que os futuros docentes atuem de forma crítica, fomentando modos de pensar específicos da Química para interpretar situações relevantes da sociedade. Nesse sentido, torna-se necessário que os licenciandos tenham a oportunidade, no decorrer de sua formação, de participar e planejar atividades que permitam o desenvolvimento de tais habilidades. Dessa forma, a disciplina na qual essa pesquisa foi desenvolvida foi organizada em dois momentos. No primeiro, foram discutidos com os licenciandos os fundamentos teóricos e epistemológicos que estruturam as atividades experimentais, além de serem realizadas sete atividades experimentais baseadas nos pressupostos do currículo para promover o Pensamento Químico. No segundo semestre da disciplina, foi proposto que os próprios licenciandos elaborassem roteiros experimentais e os desenvolvessem com os colegas da turma e com a professora-formadora, simulando uma aula do Ensino Médio. Os dados coletados e analisados referentes às atividades elaboradas pelos estudantes serão apresentados em um artigo futuro.

Referências

AFONSO, A. F.; SILVA, A. C. A.; REIS, R. C.; FLORENTINO, J. V. Um estudo das habilidades relacionadas ao conhecimento químico presentes na Base Nacional Comum Curricular. *Revista e-Curriculum*, v. 20, n. 2, p. 629-645, 2022.

- ALMEIDA, F. G.; BROIETTI, F. C. D. Explorando o pensamento químico de licenciandos em aulas experimentais remotas. *Química Nova na Escola*, v. 45, n. 1, p. 69-84, 2023.
- ANDERSSON, B. Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, v.18, p. 53-58, 1990.
- BANKS, G.; CLINCHOT, M.; CULLIPHER, S.; HUIE, R.; LAMBERTZ, J.; LEWIS, R.; NGAI, C.; SEVIAN, H.; SZTEINBERG, G.; TALANQUER, V.; WEINRICH, M. Uncovering Chemical Thinking in Students' Decision Making: A Fuel-Choice Scenario. *Journal of Chemical Education*, v. 92, n. 10, p. 1610–1618, 2015.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. *Química a ciência central*. 9ª ed.; Pearson Prentice Hall do Brasil, 2008.
- BURKE, K. A.; GREENBOWE, T. J.; HAND, B. M. Implementing the Science Writing Heuristic in the Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, v. 83 n. 7, p. 1032-1038, 2006.
- CHAMIZO, J. A. Technochemistry: one of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, v.15, n.2, p.157-170, 2013.
- CHEMICAL EDUCATION XCHANGE. *Chemical Thinking*. 2020. Disponível em: <<https://www.chemedx.org/article/chemical-thinking>>. Acesso em: 20 de jun. de 2022.
- DOTTI, M. Analogia e mediação docente no processo de ensino e aprendizagem de equilíbrio químico. *Educação em ponto de vista*, v. 2, n. 2, p. 125-141, 2018.
- HIRAYAMA, P.; PORTO, P. A. Elementos de História e Filosofia da Química Segundo Professores do Ensino Médio: relações química/sociedade. *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química*, v.2, n.1, p.1-27,2021.
- JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: Logical or psychological? *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, v. 1, n.1, p. 9 -15, 2000.
- JOHNSTONE, A. H. The Future Chape of Chemistry Education. *Chemistry Education: Research and Practice*, v. 5, n. 3, 2004.
- LAMBACH, M.; MARQUES, C. A. Lavoisier e a influência nos estilos de Pensamento Químico: contribuições ao ensino de química contextualizado sócio-historicamente. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Química*, v. 14, n. 1, p. 9-30, 2014.
- MORTIMER, E. F.; MIRANDA, L. C. Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. *Química Nova na Escola*, n.2, p.23-26, 1995.
- NRC. National Research Council. *Beyond the molecular frontier: challenges for chemistry and chemical engineering*, Washington, D.C.: National Academy Press, 2003.
- MARTINS, I. P.; MALAQUIAS, I.; OLIVEIRA, J. Tabela periódica, Mendellev e educação CTS – o caso de uma exposição pública. *Indagatio Didactica*, v. 12, n. 4, p. 57-72, 2020.

- PAULETTI, F.; FENNER, R. D. S.; ROSA, M. P. A. Contextualizando o ensino da química nas raízes históricas da evolução do conhecimento. *Revista HISTEDBR On-line*, Campinas, SP, v. 15, n. 63, p. 14–32, 2015.
- PEREIRA, A. S.; VITURINO, J. P.; ASSIS, A. O uso de indicadores naturais para abordar a experimentação investigativa problematizadora em aulas de Química. *Educação Química em Punto de Vista*, v. 1, n. 2, P. 135-148, 2017.
- PEREIRA, L. L. S.; CURADO, T. C.; BENITE, A. M. C. A elaboração conceitual de Química em uma perspectiva bilíngue: Um estudo a partir da educação de surdos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 22, p. 1-26, 2021.
- REZENDE, B. de P.; SILVA, A. C. A. da. Análise das representações em experimentos químicos de livros didáticos. *Revista Educação em Foco*, v. 27, p.1-29, 2022.
- REZENDE, B. de P.; SILVA, A. C. A. da. Análise dos roteiros de atividades experimentais nos livros didáticos de Química: um estudo das representações e dos níveis do pensamento químico. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v. 17, n. 39, p. 46-60, 2021.
- SEVIAN, H.; TALANQUER, V. Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice Journal*, n. 15, p. 10-23, 2014.
- SILVA, R. M. G. Conhecimentos químicos no ensino de ciências das séries iniciais do ensino fundamental: uma forma de desenvolver o Pensamento Químico. *Ensino em Re-vista*, v. 16, n. 1, p. 91-103, 2009.
- SILVA, R. S.; DEL PINO, J. C. Transformações químicas: as noções dos estudantes a explicarem fatos de uma história. *Pesquisa em Foco*, v.21, n.1, p.67-78, 2016.
- SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. Eco-reflexive chemical thinking and action. *Current Opinion. GREEN AND SUSTAINABLE CHEMISTRY*, v. 13, p. 16-20, 2018.
- SOUZA, F. L., AKAHOSHI, L. H., MARCONDES, M. E. R., do CARMO, M. P. *Atividades experimentais investigativas no ensino de química. GEPEQ. Grupo de Pesquisa em Educação Química*. São Paulo: Secretaria da Educação, 2013.
- SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v.8, n. 2, p. 1-22, 2009.
- TALANQUER, V.; POLLARD, J. Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 11, p. 74–83, 2010.
- TALANQUER, V. School chemistry: the need for transgression. *Science & Education*, v. 22, p. 1757–1773, 2013.
- TALANQUER, V. Assessing for Chemical Thinking. In: SCHULTZ M., SCHMID S., LAWRIE G. *Research and Practice in Chemistry Education: Advances from the 25th IUPAC International Conference on Chemistry Education*. Singapore: Springer, 2019. p. 123-133.
- WENZEL, J. S. A leitura de textos de divulgação científica na constituição de professores de química. *Interfaces da educação*, v. 9. n. 27, p. 232-252, 2018.

ZUCCO, C. Química para um mundo melhor. *Química Nova*, v. 34. n. 5, p. 733, 2011.

SOBRE AS AUTORAS

FERNANDA GARCIA DE ALMEIDA. Bacharel e licenciada em Química, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática na UEL. Londrina, PR – BR.

FABIELE CRISTIANE DIAS BROIETTI. Licenciada em Química, doutora na área de Educação para Ciências pela UEM, atualmente é professora/pesquisadora no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática na Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR -BR.

Recebido: 14 de novembro de 2022.

Revisado: 18 de maio de 2023.

Aceito: 15 de junho de 2023.