

**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL**

DAYANNY MAYARA FREITAS LEITE

EXPLORANDO A CINÉTICA QUÍMICA:
Uma abordagem prática por meio de simuladores computacionais e da metodologia POE



**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL**

DAYANNY MAYARA FREITAS LEITE

EXPLORANDO A CINÉTICA QUÍMICA:
Uma abordagem prática por meio de simuladores computacionais e da metodologia POE

Manaus – AM
2026

DAYANNY MAYARA FREITAS LEITE

EXPLORANDO A CINÉTICA QUÍMICA:

Uma abordagem prática por meio de simuladores computacionais e da metodologia POE

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI, ofertado pelo Campus Manaus Centro do Instituto Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestra em Química.

Manaus – AM
2016

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

L533e Leite, Dayanny Mayara Freitas.

Explorando a cinética química: Uma abordagem prática por meio de simuladores computacionais e da metodologia POE / Dayanny Mayara Freitas Leite. – Manaus, 2026.

136 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2026.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Rodrigues de Melo.

1. Cinética Química. 2. Aprendizagem Significativa. 3. Metodologia POE. 4. Simulador Computacional. 5. Sequência Didática I. Melo, Ana Cláudia Rodrigues de. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 540

DAYANNY MAYARA FREITAS LEITE

EXPLORANDO A CINÉTICA QUÍMICA

Uma abordagem prática por meio de simuladores computacionais e da metodologia POE

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI, ofertado pelo Campus Manaus Centro do Instituto Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestra em Química.

Local, 25 de março de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 gov.br

ANA CLAUDIA RODRIGUES DE MELO
Data: 06/06/2026 21:48:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra Ana Cláudia Rodrigues de Melo
Orientadora - IFAM

Documento assinado digitalmente

 gov.br

ALINE CARVALHO DE FREITAS DOS SANTOS
Data: 06/06/2026 12:33:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra Aline Carvalho de Freitas dos Santos
Membro Interno - IFAM

Documento assinado digitalmente

 gov.br

JEAN MICHEL DOS SANTOS MENEZES
Data: 06/06/2026 12:43:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Jean Michel dos Santos Menezes
Membro Externo - UFAM

À minha família, em especial ao meu esposo,
Kaio Henrique, pelo apoio, paciência e
incentivo constante.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi atravessada por encontros, apoios e afetos que tornaram possível cada etapa deste percurso.

Agradeço, primeiramente, ao meu esposo, pela presença constante, pelo incentivo nos momentos de incerteza, pela força, pelo cuidado e por acreditar em mim mesmo quando o caminho parecia difícil. Seu apoio foi essencial para que este sonho se concretizasse.

Aos meus filhos, minha maior motivação, por me lembrarem diariamente do sentido de aprender, persistir e crescer. Vocês são a razão de cada esforço e a inspiração por trás de cada conquista.

À minha família e aos amigos, pelo carinho, pela escuta, pela parceria e pelo suporte ao longo desses dois anos. Compartilhar essa caminhada com vocês tornou o percurso mais leve e significativo.

À CAPES, pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos, que possibilitou dedicação à pesquisa e contribuiu diretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora, pela escuta atenta, pelas contribuições cuidadosas, pela parceria e pela confiança ao longo de todo o processo formativo.

Ao PROFQUI e ao IFAM, pela formação acadêmica e humana, pelos espaços de diálogo e pela valorização da pesquisa articulada à prática docente, fundamentos que sustentam esta dissertação.

À escola campo de pesquisa, pela acolhida e pela confiança, e, especialmente, aos estudantes participantes, que, com suas perguntas, ideias e descobertas, deram vida à pesquisa e reafirmaram o sentido de ensinar e aprender Ciências.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta caminhada. Este trabalho é também resultado das relações, das trocas e da crença coletiva na potência da educação.

“O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe”.

David P. Ausubel

RESUMO

A pesquisa baseia-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e investiga a aprendizagem de conceitos relacionados à Cinética Química por meio da aplicação de uma sequência didática estruturada na metodologia ativa POE (Predizer, Observar e Explicar), associada ao uso do simulador computacional do projeto PhET Interactive Simulations da Universidade do Colorado em Boulder. O estudo tem como objetivo geral investigar de que forma a integração de metodologias ativas e simuladores contribui para a aprendizagem significativa dos conceitos como a teoria das colisões e os fatores que influenciam a velocidade das reações químicas. Desenvolveu-se com estudantes do 2º ano do ensino médio de uma escola pública de Manaus – AM, adotando abordagem qualitativa, de natureza aplicada, com procedimentos de Pesquisa-Ação. A coleta de dados ocorreu por meio de entrevistas, questionários organizados em fichas de aulas e registros de observações das atividades. A metodologia POE possibilitou analisar as respostas e reflexões dos estudantes nas etapas de Previsão e Explicação, fornecendo subsídios para a Análise Textual Discursiva. Os resultados indicaram avanços na mobilização de conhecimentos prévios, na compreensão dos fatores que influenciam a velocidade das reações e na construção de explicações mais elaboradas, evidenciando indícios de aprendizagem significativa. Como produto educacional, elaborou-se um guia didático para professores que propõe uma abordagem investigativa, valoriza os conhecimentos prévios dos estudantes e favorece interações significativas no processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa; Metodologia POE; Cinética Química; Simulador Computacional; Sequência Didática.

ABSTRACT

This research is grounded in the Meaningful Learning Theory of David Ausubel and investigates the learning of Chemical Kinetics concepts through the implementation of a didactic sequence structured around the POE active methodology (Predict, Observe and Explain), associated with the use of the PhET computer simulator. The study aimed to investigate how the integration of active methodologies and simulators contributes to the meaningful learning of concepts such as collision theory and the factors that influence reaction rates. The research was conducted with second-year high school students from a public school in Manaus, Amazonas, Brazil, adopting a qualitative approach of an applied nature, with procedures based on Action Research. Data collection included interviews, questionnaires organized as lesson worksheets, and observation records of classroom activities. The POE methodology enabled the analysis of students' responses and reflections during the Prediction and Explanation stages, providing support for Discursive Textual Analysis. The results indicated advances in the mobilization of prior knowledge, in the understanding of factors that affect reaction rates, and in the development of more elaborated explanations, evidencing indications of meaningful learning. As an educational product, a teaching guide for teachers was developed, proposing an investigative approach that values students' prior knowledge and promotes meaningful interactions in the teaching and learning process.

Keywords: Meaningful Learning; POE Methodology; Chemical Kinetics; Computer Simulations; Didactic Sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo simplificado da Pesquisa-ação baseado em Dick (2000).	38
Figura 2 - Etapas de uma Pesquisa-ação adaptado de McKay e Marshall (2001).	38
Figura 3 - Interface da simulação “Reações e Taxas” utilizada na pesquisa	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frequência das categorias na Questão 1	87
Gráfico 2 - Frequência das categorias na Questão 2	90
Gráfico 3 - Frequência das categorias na Questão 3	93
Gráfico 4 - Frequência das categorias na Questão 4	96
Gráfico 5 - Frequência das categorias na Questão 5	98
Gráfico 6 - Frequência das categorias na Questão 6	101
Gráfico 7 - Frequência das categorias na Questão 7	103
Gráfico 8 - Frequência das categorias na Questão 8	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sequência didática baseada na metodologia POE com uso do simulador PHeT ..	42
Quadro 2 - Categorias emergentes referentes às concepções dos estudantes sobre reações químicas	49
Quadro 3 - Categorias emergentes referentes à influência da temperatura na deterioração dos alimentos	52
Quadro 4 - Categorias emergentes referentes à influência da temperatura e da pressão no cozimento dos alimentos	53
Quadro 5 - Categorias emergentes referentes à importância da mastigação no processo digestivo	55
Quadro 6 - Categorias emergentes referentes à influência da fragmentação dos alimentos no tempo de cozimento	58
Quadro 7 - Categorias emergentes referentes à dissolução de comprimidos efervescentes em função da fragmentação	60
Quadro 8 - Categorias emergentes referentes à influência das enzimas na velocidade da digestão	62
Quadro 9 - Categorias emergentes referentes à influência do aumento da concentração de oxigênio na propagação do fogo	65
Quadro 10 - Categorias emergentes referentes às colisões entre partículas	68
Quadro 11 - Categorias emergentes referentes à influência da concentração nas colisões entre partículas	69
Quadro 12 - Categorias emergentes referentes à influência da temperatura na velocidade das reações químicas	71
Quadro 13 - Categorias emergentes referentes ao papel do catalisador na energia de ativação e na velocidade das reações químicas	73
Quadro 14 - Categorias emergentes referentes aos fatores que influenciam a velocidade das reações químicas	75
Quadro 15 - Categorias emergentes referentes às relações estabelecidas entre previsões iniciais e resultados observados nas simulações	76
Quadro 16 - Categorias emergentes referentes às vantagens do uso de simulações computacionais na etapa Observar da metodologia POE	78
Quadro 17 - Categorias emergentes referentes às conclusões dos estudantes sobre os fatores que influenciam a velocidade das reações químicas	80
Quadro 18 - Indicadores de aprendizagem significativa e critérios de análise da Etapa “Explicar”	84
Quadro 19 - Panorama geral dos indicadores de aprendizagem significativa na etapa “Explicar”	85
Quadro 20 - Sistematização das evidências de Aprendizagem Significativa nos cartazes	110

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
2.1 GERAL.....	19
2.2 ESPECÍFICOS.....	19
3. REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1 O ENSINO DE QUÍMICA NO BRASIL: CONTEXTOS E IMPLICAÇÕES.....	20
3.2 DESAFIOS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE QUÍMICA.....	22
3.3 TECNOLOGIAS DIGITAIS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TDIC) NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	24
3.4 SIMULADORES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE QUÍMICA: POTENCIALIDADES E IMPLICAÇÕES PEDAGÓGICAS.....	25
3.5 METODOLOGIAS ATIVAS (MA) E O USO DE TDIC NA APRENDIZAGEM.....	28
3.5.1 A abordagem Predizer, Observar e Explicar (POE)	29
3.6 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL.....	31
3.6.1 Diferenciação progressiva e reconciliação integradora	34
4. METODOLOGIA	36
4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	36
4.2 CONTEXTO DA PESQUISA E CUIDADOS ÉTICOS.....	39
4.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	40
4.4 O SIMULADOR PHET.....	44
4.5 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	45
4.6 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1 ANÁLISE DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS DOS ESTUDANTES.....	48
5.2 ANÁLISE DA ETAPA DE OBSERVAÇÃO E INTERAÇÃO COM AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	66
5.3 ANÁLISE ETAPA EXPLICAR À LUZ DE INDICADORES DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	81
5.3.1 Panorama geral dos indicadores	84
5.3.2 Indicadores nas situações problemas	87
5.3.3 Concepções alternativas e limites de aprendizagem	107
5.4 SISTEMATIZAÇÃO FINAL: ANÁLISE DOS CARTAZES PRODUZIDOS.....	109

6. PRODUTO EDUCACIONAL	112
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS	118
APÊNDICE A - CARTA DE ANUÊNCIA.....	126
APÊNDICE B - DECLARAÇÃO DE USO DE INFRAESTRUTURA.....	127
APÊNDICE C - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE).....	128
APÊNDICE D - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)....	130
APÊNDICE E - QUESTIONÁRIO INICIAL.....	132
APÊNDICE F - FICHA DE OBSERVAÇÃO.....	134

1. INTRODUÇÃO

A Cinética Química estuda as velocidades das reações e os diversos fatores que as influenciam, além de examinar a variação da composição dos reagentes e produtos ao longo do tempo, desempenha um papel importante em diversas áreas da ciência e da indústria, desde o desenvolvimento de novos medicamentos até a otimização de processos industriais e a compreensão de fenômenos ambientais. Os conceitos trazem contribuições importantes para os alunos, permitindo que eles entendam situações do seu cotidiano, como o processo de amadurecimento das frutas e o cozimento dos alimentos (Pires; Sá, 2021). Compreender esses fenômenos pode ampliar a visão dos estudantes sobre a aplicabilidade prática da química, indo além da sala de aula e conectando o conhecimento científico ao seu cotidiano.

Sob o ponto de vista de Tomé et al., (2021), o ensino de cinética química enfrenta inúmeros desafios, principalmente devido à complexidade e ao caráter abstrato dos conceitos envolvidos, sendo assim, indicado por professores e alunos, como uma temática de difícil compreensão, o que dificulta o alcance de uma aprendizagem significativa.

Essa dificuldade muitas vezes é agravada pelos métodos tradicionais de ensino, centrados em aulas expositivas e no uso de livros didáticos, métodos que frequentemente falham em considerar os conhecimentos prévios dos alunos e suas experiências cotidianas. Essa abordagem pode tornar o aprendizado desmotivante e ineficaz, com os estudantes tratando o conteúdo como uma série de fatos a serem memorizados, sem compreensão ou aplicação prática (Silva; Paiva, 2019).

Segundo David Ausubel, a aprendizagem só se torna verdadeiramente significativa quando os novos conhecimentos podem relacionar-se, de maneira não arbitrária e substantiva, aos conhecimentos prévios dos estudantes, denominados subsunçores. Na perspectiva do autor, aquilo que o aluno já sabe constitui a variável mais importante para a aquisição de novos significados, funcionando como uma ideia âncora capaz de sustentar a construção de aprendizagens mais complexas. Por isso, torna-se essencial que o professor identifique tais subsunçores e organize os conteúdos de forma lógica, sequencial e progressiva. Quando esse princípio não é considerado, o aprendizado tende a ocorrer de modo mecânico, resultando em baixa compreensão e pouca capacidade de transferência para novas situações (Moreira, 2012).

A ausência de estratégias pedagógicas inovadoras pode limitar o engajamento dos estudantes, especialmente no ensino de conceitos científicos. Para superar essa barreira, é

essencial que os educadores explorem formas interativas de ensino que incentivem uma participação mais ativa dos alunos no processo de aprendizagem (Leite, 2019). Assim, o uso de tecnologias da informação e da comunicação vem se mostrando uma estratégia para tornar o ensino da química mais motivador e dinâmico (Veras et al., 2022).

Nesse contexto, os simuladores computacionais surgem como uma ferramenta pedagógica inovadora e promissora. Esses recursos permitem a visualização dinâmica dos processos químicos, proporcionando uma experiência interativa onde os alunos podem manipular variáveis e observar os efeitos em tempo real. Araújo et al., (2021), argumentam que a utilização de simuladores virtuais no ensino pode ser altamente eficaz, pois facilita uma aprendizagem mais interativa e estimulante para os alunos. Ao criarem um ambiente lúdico, os simuladores estimulam o raciocínio e a criatividade, tornando a compreensão de conceitos mais divertida e acessível em comparação com os métodos tradicionais baseados em livros didáticos.

Porém, é importante compreender que não é o fato de utilizar as ferramentas tecnológicas no processo educacional que irá fazer com que o aluno aprenda mais ou melhor, a eficácia desses recursos depende da intencionalidade pedagógica e da metodologia utilizada. Assim, fica claro que a utilização de recursos tecnológicos no ensino deve ser acompanhada por uma reflexão cuidadosa sobre as metodologias adotadas. É essencial que essas estratégias pedagógicas sejam pensadas de forma a promover uma aprendizagem significativa (Leite, 2019).

Nesse sentido, utilizar abordagens que tenham como propostas tornar os alunos seres ativos no processo de ensino e aprendizagem, rompendo com o modelo transmissão de conteúdo pelo professor, são possibilidades educacionais interessantes. Essa é a proposta das Metodologias Ativas (MA), que tira o foco principal do professor, tornando este um mediador, e o aluno torna-se protagonista do processo de aprendizagem (Fagundes; Sasaki, 2019; Field's; Ribeiro; Souza, 2021).

É ainda mais interessante utilizar as MA devido às grandes possibilidades de inserir as tecnologias digitais a esse processo, “construindo assim espaços múltiplos, flexíveis e híbridos de aprendizagem de forma a potencializar essas metodologias” (Field's; Ribeiro; Souza, p. 4, 2021).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), também reforça a importância de práticas pedagógicas inovadoras que promovam o desenvolvimento integral dos estudantes, considerando tanto habilidades cognitivas quanto socioemocionais (Brasil, 2018). Dessa forma, integrar simuladores computacionais a metodologias ativas no ensino de Cinética Química

contribui diretamente para os objetivos propostos pela BNCC, ao mesmo tempo que torna o ensino mais significativo, atrativo e alinhado às demandas do século XXI.

Com base nesse cenário, essa pesquisa tem a seguinte questão norteadora: Como a integração de Metodologias Ativas, aliada ao uso de simuladores computacionais, pode promover uma aprendizagem significativa dos conceitos de Cinética Química entre alunos do Ensino Médio?

A investigação dessa problemática justifica-se pela necessidade urgente de ressignificar o ensino de química, especialmente em temas tradicionalmente considerados difíceis, como a cinética química. Os simuladores interativos representam uma abordagem pedagógica inovadora, pois favorecem a participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem (Costa e Tavares 2019). Além disso, tornam o aprendizado mais concreto e compreensível ao possibilitar a visualização de conceitos abstratos e a exploração de fenômenos químicos de maneira virtual, mas prática e contextualizada.

Além disso, ao adotarem uma postura ativa diante do conhecimento, os estudantes desenvolvem autonomia, pensamento crítico e habilidades de trabalho em grupo, o que enriquece sua formação integral. Assim, a integração de metodologias ativas com o uso de tecnologias digitais no ensino da cinética química não apenas responde às diretrizes curriculares vigentes, como também representa um avanço necessário e viável na promoção de uma educação mais significativa, inclusiva e transformadora.

Com isso, investigar o impacto dos simuladores computacionais no ensino de cinética química pode fornecer respostas enriquecedoras para aprimorar práticas pedagógicas e contribuir para uma educação mais robusta e alinhada às novas realidades sociais e tecnológicas.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar as contribuições da integração de metodologias ativas, apoiadas no uso de simuladores computacionais, para a promoção da aprendizagem significativa de conceitos de Cinética Química em alunos do 2o ano do Ensino Médio de uma escola pública de Manaus.

2.2 ESPECÍFICOS

- Identificar os conhecimentos prévios dos alunos do 2º ano do Ensino Médio sobre conceitos relacionados ao conteúdo de Cinética Química;
- Elaborar uma sequência didática fundamentada em metodologias ativas, com ênfase no método POE, articulada ao uso do simulador computacional PhET e orientada pelos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa;
- Analisar as evidências de aprendizagem significativa manifestadas pelos estudantes durante a aplicação da sequência didática de Cinética Química.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 O ENSINO DE QUÍMICA NO BRASIL: CONTEXTOS E IMPLICAÇÕES

A educação configura-se como um fenômeno historicamente situado, sendo constantemente influenciada pelas demandas sociais, políticas e culturais de cada período. Nesse sentido, suas finalidades, organização curricular e práticas pedagógicas são continuamente reformuladas em função dos interesses que atravessam determinado contexto histórico. No Brasil, esse movimento também se evidencia, uma vez que as transformações no campo educacional acompanham as mudanças políticas e sociais vivenciadas no país (Silva-Batista; Moraes, 2019). Conforme destaca Krasilchik (2000), observa-se que, a cada novo governo, emergem reformas educacionais que impactam, sobretudo, os níveis básico e médio de ensino.

No que se refere ao ensino secundário, a Química só começou a ser lecionada como uma disciplina regular a partir do ano de 1931, com a reforma educacional Francisco Campos, com a finalidade de promover a formação científica dos estudantes e aproximar o conhecimento químico de situações do cotidiano (Lopes; Macedo, 2002, apud Lima, 2013). Ao longo das décadas seguintes, diferentes reformas educacionais foram implementadas, refletindo contextos políticos e econômicos distintos e atribuindo sentidos variados ao ensino de Ciências. O reconhecimento da ciência e tecnologia como sendo fundamentais para o desenvolvimento do país fez com que o ensino de ciências também fosse impulsionado (Krasilchik, 2000).

Durante a década de 1960, em um cenário marcado pela Guerra Fria, o Brasil se viu imerso em um contexto global de competição científica e tecnológica. Com isso, movimentos educacionais surgiram com a intenção de preparar uma elite científica, evidenciando uma concepção de ensino orientada ao desenvolvimento tecnológico e à preparação de recursos humanos qualificados. A promulgação da Lei nº 4.024/1961 ampliou a presença das Ciências no currículo, buscando não apenas a transmissão de conteúdo, mas também o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade de análise dos estudantes (Krasilchik, 2000).

Com a instauração da ditadura militar em 1964, observa-se uma reconfiguração nessa perspectiva da educação para a formação do cidadão crítico, passando a ser vista sob uma ótica utilitarista, ou seja, com maior ênfase na formação para o trabalho. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 5.692/1971, normatizou essa mudança, que se concentrou em uma abordagem mais profissionalizante e menos focada no desenvolvimento integral do aluno (Krasilchik, 2000).

Já na década de 1990, a LDB nº 9.394/1996 e os documentos orientadores como as Diretrizes Curriculares Nacionais e os Parâmetros Curriculares Nacionais, marcaram com uma ampla reforma do Ensino Médio brasileiro, buscando reconectar a educação com a cidadania, articulando o conhecimento científico a valores sociais e éticos (Lima, 2013). Nesse sentido, a educação básica deveria ser capaz de proporcionar uma formação cidadã, assim como preparar os estudantes para progredir no trabalho e na educação posterior (Brasil, 1996).

Nesse cenário, compreender o ensino de Química no Ensino Médio implica reconhecer sua dimensão cultural e formativa, ultrapassando uma abordagem meramente conteudista. Nessa perspectiva, Lima (2013) defende que a aprendizagem torna-se significativa quando a Química é assumida como instrumento fundamental para uma educação humana de qualidade, contribuindo para a compreensão do universo e para a interpretação crítica da realidade. Tal compreensão reforça a necessidade de práticas pedagógicas voltadas à formação humana integral, nas quais o conhecimento químico atue como mediador da construção de sentidos, da participação social e do exercício da cidadania. Assim, atribuir valor cultural à Química significa situá-la como componente essencial na formação de sujeitos críticos, capazes de posicionar-se de maneira ativa diante das transformações científicas e tecnológicas da sociedade contemporânea.

Ao longo dos anos, diversas políticas educacionais foram criadas com o objetivo de aprimorar a qualidade do ensino no Brasil. A mais recente delas, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), criada em 2018, estabelece um conjunto de aprendizagens essenciais que os alunos devem alcançar ao longo da Educação Básica. Entre suas diretrizes, destaca-se a promoção do ensino de Ciências desde as etapas iniciais da formação escolar, reforçando a importância de uma educação científica robusta no desenvolvimento integral dos estudantes. Através do currículo de ensino, deve haver a promoção de aprendizagens essenciais, desenvolvidas com base em conhecimentos, competências e habilidades (Silva-Batista; Moraes, 2019; Brasil, 2018).

Diante dessas transformações, a trajetória do ensino de Química no Brasil revela um movimento marcado por tensões entre propostas formativas amplas e orientações mais utilitaristas, refletindo os contextos políticos, econômicos e sociais de cada período histórico. Nesse percurso, as reformas educacionais não apenas reorganizam currículos, mas também redefinem sentidos atribuídos ao conhecimento científico na escola. Assim, compreender a evolução desse campo implica reconhecer que as práticas pedagógicas em Química são historicamente construídas e continuamente ressignificadas, o que reforça a necessidade de

abordagens didáticas que ultrapassem a transmissão de conteúdos e favoreçam a construção de aprendizagens significativas.

3.2 DESAFIOS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE QUÍMICA

A Química ocupa papel central na formação científica escolar, pois seus conceitos e princípios possibilitam o desenvolvimento do pensamento crítico fundamentado em explicações científicas, aspecto essencial à formação cidadã (Lima, 2012). Contudo, apesar da sua relevância, o processo de ensino e aprendizagem dessa disciplina tem sido historicamente marcado por práticas centradas na transmissão e recepção de conhecimentos, nas quais predominam a exposição teórica, a memorização de fórmulas e a nomenclatura de substâncias, em detrimento da compreensão conceitual (Silva, 2011).

Nesse sentido, Gomes e Costa (2022) observam que o ensino de Química ainda apresenta traços de uma pedagogia memorística e centrada no professor, frequentemente marcada pela apresentação descontextualizada dos conteúdos. De modo semelhante, Mota, Santana e Costa (2023) apontam que as práticas associadas ao ensino tradicional tendem a limitar a aprendizagem a processos mecânicos de memorização, não favorecendo a construção de significados que permitam ao estudante compreender os conteúdos e aplicá-los em situações do cotidiano. Como consequência, tais práticas contribuem para a desmotivação dos alunos, gerando dificuldades na aprendizagem e um expressivo desinteresse pela disciplina de Química (Rocha; Vasconcelos, 2016).

Para Moran (2007), o currículo escolar precisa ser contextualizado, estabelecendo conexões com a vida do aluno, de maneira que a aprendizagem de determinado conteúdo faça sentido e seja percebida como relevante. Normalmente, os alunos estudam temas sem conexão com sua realidade e necessidades. Segundo o autor, o conhecimento se consolida quando é experienciado, aplicado ou reconhecido como útil em determinadas situações.

Além dos aspectos metodológicos e curriculares, as dificuldades no ensino de Química também estão relacionadas à própria natureza dos conceitos científicos abordados. Segundo Johnstone (2000), a compreensão dos fenômenos químicos requer a articulação entre os três níveis de representação: o macroscópico, associado aos fenômenos observáveis; o submicroscópico, que envolve explicações em termos de partículas, átomos e moléculas; e o simbólico, expresso por meio de equações, fórmulas e gráficos. Quando essa articulação não ocorre, o estudante enfrenta dificuldades cognitivas, especialmente em conteúdos de caráter

abstrato, como a Cinética Química, nos quais o aluno precisa relacionar fenômenos observáveis a explicações em nível submicroscópico, frequentemente representadas de forma simbólica.

Essa perspectiva dialoga com os resultados da revisão sistemática realizada por Albano e Delou (2023), que identificam como principal dificuldade no ensino e aprendizagem de Química a incapacidade dos alunos em estabelecer relações entre o mundo submicroscópico, de natureza abstrata e teórica, e o mundo macroscópico, ligado às experiências concretas. Segundo os autores, esta desconexão é agravada pela fragmentação presente nos livros didáticos e nas metodologias de ensino tradicionais, que tendem a apresentar os conceitos científicos de maneira isolada e desarticulada. Como consequência, os estudantes passam a aceitar os modelos científicos como verdades estáticas, sem perceber que são construções dinâmicas, passíveis de questionamentos e reformulações.

Diante desse cenário, Araújo et al (2021) ressaltam que o ensino tradicional vem sendo amplamente discutido como ineficaz, por não acompanhar as transformações tecnológicas e pedagógicas necessárias à promoção de uma aprendizagem significativa. Para os autores, torna-se imprescindível que os professores estejam atentos às mudanças da sociedade contemporânea, buscando estratégias que favoreçam a criatividade, a interatividade e o envolvimento ativo dos estudantes com o conhecimento.

Reconhece-se que os métodos tradicionais de ensino, embora tenham contribuído significativamente para o desenvolvimento da educação ao longo do tempo, apresentam limitações importantes. No entanto, torna-se indispensável superar esse modelo, uma vez que ele não atende às demandas formativas da sociedade atual nem prepara adequadamente os alunos para enfrentar situações complexas do mundo contemporâneo (Gama et al., 2021). Assim, evidencia-se a necessidade da utilização de recursos didáticos alternativos e de caráter inovador, capazes de despertar o interesse dos discentes e auxiliar na compreensão dos conteúdos, favorecendo a construção de uma aprendizagem mais significativa (Silva et al., 2013).

Diante desse conjunto de desafios, torna-se evidente que as dificuldades no ensino de Química não se restringem ao domínio conceitual dos estudantes, mas estão relacionadas à forma como o conhecimento científico é apresentado, mediado e experienciado em sala de aula. Nesse sentido, repensar as práticas pedagógicas implica investir em abordagens que promovam a contextualização, a articulação entre diferentes níveis de representação e o protagonismo discente, favorecendo a construção de aprendizagens com significado. Tal perspectiva reforça a necessidade de metodologias que integrem investigação, mediação docente e uso de recursos

didáticos capazes de tornar visíveis processos químicos abstratos, especialmente em conteúdos como a Cinética Química.

3.3 TECNOLOGIAS DIGITAIS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TDIC) NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A sociedade tem passado por um acelerado desenvolvimento tecnológico, que tem transformado nossa forma de viver e, conseqüentemente, de aprender na atualidade. Nesse sentido, compreende-se que a relação entre tecnologia e educação constitui um processo dinâmico e contínuo, marcado por inovações que vêm impactando profundamente as formas de ensinar e aprender, ao mesmo tempo em que aponta para um cenário educacional cada vez mais acessível, personalizado e interativo (Anjos, et al., 2024). Nesse contexto, não inovar implica a manutenção de modelos de ensino que já não respondem às demandas formativas atuais, logo, a sala de aula não pode ficar fora do contexto tecnológico ao qual os alunos estão inseridos (Castro, 2021; Correia, 2022).

No âmbito educacional, o uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) tem possibilitado mudanças significativas e com contribuições positivas nos processos de ensino e aprendizagem. Leite (2021) destaca que a inserção dessas tecnologias contribui para tornar os estudantes mais participativos, favorecendo interações mais dinâmicas entre professores e alunos. Nessa perspectiva, as TDIC configuram-se como importantes aliadas na reconfiguração das práticas pedagógicas, tornando-as mais alinhadas à realidade dos estudantes e potencializando a construção do conhecimento por meio de experiências mais interativas e contextualizadas.

Essa perspectiva encontra respaldo na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Ensino Médio, que, entre suas competências gerais, enfatiza a necessidade de:

“Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.” (BRASIL, 2018, p.9).

Entretanto, é importante ressaltar que a simples inserção de tecnologias no ambiente escolar não garante, por si só, melhorias no processo de aprendizagem. Conforme argumenta Moraes (1997), o aspecto central não reside no acesso às tecnologias, mas na criação de novos ambientes de aprendizagem e dinâmicas sociais que emergem a partir de seu uso. Tal

compreensão reforça a necessidade de propostas pedagógicas que integrem, de forma intencional, o uso das TDIC com práticas investigativas e mediação docente qualificada.

Corroborando essa ideia, Correia (2022) destaca que a efetividade no uso das TDIC na educação vai muito além da mera utilização da ferramenta, é importante que o professor consiga utilizá-la de maneira proveitosa para alcançar o objetivo final, que é a aprendizagem. Quando utilizadas sem intencionalidade didática, essas ferramentas podem se reduzir a meros recursos ilustrativos, com pouca ou nenhuma contribuição para a compreensão conceitual. Dessa forma, torna-se imprescindível que o professor utilize as tecnologias de maneira estratégica, alinhando-as aos objetivos de aprendizagem, assegurando que sua utilização tenha significado pedagógico e favoreça, de fato, a construção significativa do conhecimento.

Nesse sentido, o papel do professor assume centralidade no processo de integração das TDIC, uma vez que é sua mediação pedagógica que possibilita à tecnologia assumir um papel significativo na aprendizagem, e não os recursos tecnológicos em si. Conforme apontam Martins, Serrão e Silva (2020), diante da diversidade de recursos tecnológicos disponíveis, cabe ao docente selecionar aqueles que se adequam aos objetivos educacionais e às necessidades dos estudantes.

Dessa forma, compreende-se que o foco não deve estar nas tecnologias em si, mas nas possibilidades de expressão, interação e construção de significados que elas proporcionam no contexto educativo (Valente, 2018). Quando integradas de forma intencional ao planejamento pedagógico, as TDIC podem favorecer a visualização de fenômenos abstratos, a articulação entre diferentes níveis de representação e o engajamento investigativo dos estudantes. Nesse cenário, destacam-se os recursos digitais interativos, especialmente os simuladores computacionais, que possibilitam a exploração de fenômenos não diretamente observáveis, como aqueles presentes no ensino de Química. Tais ferramentas ampliam as possibilidades de experimentação e investigação, o que justifica a necessidade de compreender suas potencialidades e implicações pedagógicas no contexto educacional.

3.4 SIMULADORES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE QUÍMICA: POTENCIALIDADES E IMPLICAÇÕES PEDAGÓGICAS

Ao analisar os conceitos propostos por Ehrlich (1985), Gavira (2003) destaca que a simulação se consolida como um método matemático capaz de reproduzir as características de um sistema original para fins de experimentação. No contexto educacional, tais recursos têm se consolidado como importantes ferramentas metodológicas, uma vez que favorecem a

participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem, promovendo a experimentação, a descoberta e a construção do conhecimento de forma autônoma e reflexiva. Além disso, contribuem para uma maior aproximação entre o aluno e o objeto de estudo, ao integrarem conhecimentos prévios e novos por meio de representações visuais e interativas dos fenômenos químicos (Aguiar, 2016).

Entretanto, para que esses recursos cumpram efetivamente seu papel pedagógico, é fundamental que sua utilização esteja associada a um planejamento didático intencional. Correia (2022) ressalta que os simuladores possuem como finalidade educacional a facilitação da aprendizagem de conteúdos abstratos que, em um primeiro contato, podem se apresentar como de difícil assimilação para os estudantes. Por meio de interfaces gráficas e dinâmicas, esses ambientes virtuais tornam acessíveis processos complexos, favorecendo a visualização e a compreensão de conceitos que dificilmente seriam aprendidos apenas por meio de abordagens expositivas tradicionais.

Sob a perspectiva cognitiva, os simuladores interativos assumem especial relevância ao possibilitarem a integração entre os diferentes níveis de representação da Química propostos por Johnstone (2000), o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico. Ao articular animações, representações visuais e linguagem simbólica, esses recursos contribuem para a compreensão de conceitos abstratos e ampliam o entendimento dos processos químicos, favorecendo a conexão entre fenômenos observáveis e suas explicações em nível de partículas e interações moleculares (Rahmawati, 2022). Além disso, os softwares de simulação viabilizam a realização de experimentos e análises que seriam difíceis de reproduzir no contexto escolar, seja pela complexidade dos procedimentos, pela necessidade de equipamentos específicos ou pelo caráter abstrato de determinados fenômenos (Sampaio, 2017).

Nesse sentido, os simuladores computacionais configuram-se como mediadores relevantes na transição de modelos tradicionais de ensino para abordagens mais investigativas, ao favorecerem a construção ativa do conhecimento e a articulação entre diferentes níveis de compreensão dos fenômenos químicos. Sua utilização contribui para a integração entre novos conteúdos e conhecimentos prévios, aspecto fundamental para a ocorrência da aprendizagem significativa (Aguiar, 2016). Essa perspectiva é reforçada por Camargos e Igreja (2022), ao destacarem que o uso de simuladores promove a inovação das práticas docentes, tornando as aulas mais interativas e fortalecendo a articulação entre teoria e prática.

A relevância pedagógica das simulações computacionais é sustentada por evidências empíricas, como as apresentadas na revisão sistemática conduzida por Palacios Ortega, Pascual López e Moreno Mediavilla (2024), que aponta o papel significativo das simulações virtuais na

aprendizagem de conceitos químicos. Os autores identificaram ganhos expressivos tanto na compreensão conceitual quanto no desenvolvimento de competências científicas, com melhorias observadas em curto e longo prazo, indicando a ocorrência de aprendizagem significativa e afastando a hipótese de que tais avanços estejam associados apenas ao efeito novidade. A revisão também evidencia que o impacto das simulações é ampliado quando articulado a metodologias investigativas, favorecendo habilidades como raciocínio molecular, interpretação gráfica e pensamento científico.

Além disso, destaca-se que a eficácia das simulações depende de fatores como o nível de conhecimento prévio dos estudantes, o grau de orientação pedagógica e a complexidade dos modelos utilizados, aspectos que reforçam a necessidade de propostas didáticas que considerem os subsunçores e promovam discussões conceituais aprofundadas (Palacios Ortega; Pascual López; Moreno Mediavilla, 2024). Resultados semelhantes são apresentados por Jaime e Leonel (2024), que apontam como potencialidades dessas ferramentas o aumento da capacidade de observação e compreensão dos fenômenos, a ampliação da interação em sala de aula, a maior atratividade dos conteúdos e o fortalecimento do papel ativo do estudante. Segundo os autores, a possibilidade de manipulação de parâmetros favorece a construção de compreensões iniciais que podem servir de base para aprendizagens mais complexas.

Nesse cenário, o uso pedagógico das tecnologias digitais deve ser orientado por propostas que articulem teoria e prática e estimulem investigação, criatividade e colaboração, conforme argumenta Moran (2007). A integração entre pedagogia e recursos digitais, portanto, visa ampliar o potencial educativo dessas ferramentas, buscando promover o desenvolvimento do conhecimento, incentivar a criatividade, aumentar a concentração e favorecer a tomada de decisões dos estudantes, ao permitir que investiguem problemas e busquem soluções de forma inovadora e autônoma (Araújo et al., 2021).

Diante dessas contribuições, os simuladores computacionais configuram-se como importantes mediadores cognitivos no ensino de Química, especialmente por favorecerem a articulação entre diferentes níveis de representação, a manipulação de variáveis e a investigação de fenômenos abstratos. No entanto, sua efetividade pedagógica está diretamente relacionada à forma como são integrados ao planejamento didático. Nesse sentido, torna-se fundamental compreender que o potencial desses recursos se amplia quando articulado a abordagens pedagógicas que valorizem a participação ativa dos estudantes e a construção do conhecimento, como as metodologias ativas.

3.5 METODOLOGIAS ATIVAS (MA) E O USO DE TDIC NA APRENDIZAGEM

No contexto da sociedade contemporânea, marcada pela presença crescente das tecnologias em diferentes esferas sociais, inclusive na educação, emergem novas formas de ensinar e aprender que demandam constante revisão das práticas pedagógicas. Nesse cenário, a simples inserção de recursos tecnológicos no ambiente escolar não é suficiente para resolver os desafios do ensino, uma vez que a tecnologia representa apenas um dos elementos que compõem a complexa rede de relações que influencia os processos educativos (Cunha et al., 2024).

Diante disso, as Metodologias Ativas (MA) configuram-se como abordagens que buscam reestruturar o ensino e aprendizagem, promovendo maior participação e autonomia dos estudantes. Fundamentadas em uma perspectiva problematizadora, essas metodologias favorecem o ensino por investigação, descoberta e resolução de problemas, deslocando o foco da centralidade do professor para o protagonismo discente e contribuindo para a construção de aprendizagens mais dinâmicas e significativas (Fagundes; Sasaki, 2019; Silva et al., 2024; Valente, 2018). Nesse sentido, Cunha et al. (2024) destacam que tais metodologias integram saberes teóricos e práticos e se orientam por uma postura crítica e reflexiva, na qual o estudante ocupa posição central no processo educativo, enquanto o professor atua como mediador da aprendizagem.

Essa perspectiva é reforçada por Field's, Ribeiro e Souza (2021), ao enfatizarem que práticas pedagógicas centradas no estudante valorizam o diálogo, a investigação, a curiosidade, o questionamento e a construção coletiva do conhecimento, rompendo com modelos tradicionais de ensino baseados na transmissão unilateral de conteúdo. Assim, o protagonismo estudantil torna-se elemento central, sendo compreendido como a capacidade do aluno de participar ativamente da construção do próprio conhecimento, mobilizando diferentes formas de interação com o saber (Cunha et al., 2024; Oliveira; Silva; Ferreira, 2024).

Nessa direção, a construção do conhecimento envolve processos como observação, experimentação, reflexão e interação com o meio e com outros sujeitos, o que evidencia a importância de práticas pedagógicas que favoreçam a participação ativa dos estudantes (Oliveira; Silva; Ferreira, 2024). Tal compreensão dialoga com a perspectiva de Freire (2002), ao afirmar que ensinar não consiste em transferir conhecimento, mas em criar condições para sua construção, o que reforça o papel do professor como mediador de experiências formativas que estimulem o pensamento crítico e investigativo.

A articulação entre MA e TDIC amplia as possibilidades de desenvolvimento dessas práticas pedagógicas, ao favorecer a criação de ambientes de aprendizagem mais interativos, dinâmicos e colaborativos (Field's; Ribeiro; Souza, 2021; Valente, 2018). No ensino de Química, por exemplo, recursos digitais como animações, simulações e laboratórios virtuais contribuem para a visualização de fenômenos abstratos e para a construção de conhecimentos de forma mais significativa (Leal et al., 2020; Valente, 2018).

Contudo, é fundamental destacar que a integração entre MA e TDIC requer intencionalidade pedagógica, de modo que o uso das tecnologias esteja alinhado aos objetivos de aprendizagem. Nesse contexto, evidencia-se a importância de propostas pedagógicas orientadas por ciclos investigativos, nos quais os estudantes são incentivados a mobilizar conhecimentos prévios, formular hipóteses, observar fenômenos e elaborar explicações fundamentadas. Tais características aproximam-se de abordagens estruturadas que organizam o processo de aprendizagem em etapas investigativas, como a metodologia Predizer, Observar e Explicar (POE), discutida a seguir.

3.5.1 A abordagem Predizer, Observar e Explicar (POE)

A abordagem Predizer, Observar e Explicar (POE), proposta por White e Gunstone na Universidade de Monash, configura-se como uma estratégia de natureza construtivista voltada à explicitação e reorganização das ideias dos estudantes. Fundamentada na mobilização dos conhecimentos prévios e na geração de conflitos cognitivos, essa metodologia favorece processos de aprendizagem significativa ao incentivar que os alunos confrontem suas hipóteses com evidências empíricas e elaborem explicações conceituais progressivamente mais elaboradas (Fagundes; Sasaki, 2019; Leal; Lacerda; Menezes, 2023).

Originalmente concebida como estratégia de avaliação formativa, a abordagem POE ampliou seu escopo e passou a ser amplamente utilizada como ferramenta didática no ensino de Ciências, uma vez que favorece o desenvolvimento do pensamento crítico, da argumentação e da participação ativa dos estudantes (Yamaguchi; Araújo, 2020). Sua aplicação é flexível, podendo ocorrer em atividades individuais ou em grupo, bem como ser articulada a diferentes recursos pedagógicos, incluindo práticas experimentais, demonstrações, vídeos e simuladores computacionais (Aguilar et al., 2024; Santos; Sasaki, 2015).

Nesse sentido, a abordagem POE não se restringe a uma sequência de atividades, mas configura-se como um dispositivo pedagógico que torna visível o pensamento dos estudantes, permitindo ao professor acompanhar seus processos de construção conceitual e intervir de

maneira intencional. Conforme destacam Aguiar et al. (2024), trata-se de uma estratégia que favorece a construção de um ambiente investigativo e colaborativo, no qual os estudantes são incentivados a assumir uma postura crítica, participando ativamente da elaboração e da validação de explicações.

O método organiza-se em três etapas interdependentes: previsão, observação e explicação. Na etapa de previsão, os estudantes são convidados a apresentar seus conhecimentos prévios a partir de uma situação-problema proposta, o que desperta a curiosidade e estimula a formulação de hipóteses (Leal; Lacerda; Menezes, 2023). Recomenda-se que essas previsões sejam registradas por meio de diferentes formas de representação, como textos, desenhos ou esquemas, possibilitando posterior análise e futuras comparações (Brabo; Silva, 2022).

Na etapa de observação, busca-se promover o confronto entre as previsões iniciais e as evidências produzidas durante a atividade. Essa fase pode envolver a realização de experimentos, demonstrações ou uso de recursos digitais, permitindo aos estudantes identificar possíveis discrepâncias entre as hipóteses e os resultados observados (Brabo; Silva, 2022; Fagundes; Sasaki, 2019; Leal; Lacerda; Menezes, 2023). Esse processo favorece a ocorrência de conflito cognitivo, elemento fundamental para a reorganização das ideias e para a construção de novos significados. Além disso, é essencial que sejam promovidos momentos de discussão, nos quais os estudantes possam compartilhar interpretações e buscar explicações para os fenômenos observados (Brabo; Silva, 2022).

Na etapa de explicação, os estudantes são convidados a interpretar os resultados obtidos e estabelecer relações com suas hipóteses iniciais, elaborando explicações mais consistentes e fundamentadas. Nesse momento, a mediação docente assume papel central ao orientar a sistematização das ideias, promovendo a articulação entre as contribuições dos estudantes e os conhecimentos científicos (Brabo; Silva, 2022; Fagundes; Sasaki, 2019; Luciana; Lacerda; Menezes, 2023).

A sequência dessas etapas evidencia um movimento de externalização, confronto e reconstrução das ideias, aproximando-se dos princípios da Aprendizagem Significativa. Nessa perspectiva, a aprendizagem ocorre de maneira mais efetiva quando novas informações se ancoram em estruturas cognitivas pré-existentes, denominadas subsunçores, o que reforça a importância da mobilização dos conhecimentos prévios ao longo do processo (Leal; Lacerda; Menezes, 2023; Moreira, 1999).

A metodologia POE, ao considerar as ideias iniciais dos estudantes como ponto de partida para o desenvolvimento de novas compreensões, favorece a construção de

conhecimentos mais elaborados e o desenvolvimento de habilidades cognitivas complexas (Yamaguchi; Araújo, 2020). Ao mobilizar previsões, promover o confronto com evidências e incentivar a elaboração de explicações, o método estrutura ciclos investigativos que deslocam o foco da transmissão para a construção do conhecimento. Nesse processo, as discrepâncias entre previsão e observação assumem relevante potencial pedagógico, pois favorecem a problematização das hipóteses e concepções prévias dos estudantes, estimulando reflexão, discussão e reorganização conceitual (Santos; Sasaki, 2015).

Por fim, destaca-se que a abordagem POE contribui para o desenvolvimento do raciocínio científico ao trabalhar com situações investigativas e, muitas vezes, contraintuitivas, promovendo a reorganização conceitual dos estudantes (Fidelis et al., 2019). Quando articulada a recursos digitais, como simuladores computacionais, essa metodologia amplia as possibilidades de exploração de fenômenos abstratos, favorecendo a visualização, a manipulação de variáveis e a construção de explicações fundamentadas. Assim, o POE configura-se como uma estratégia didática potente para o ensino de Química, especialmente em conteúdos como a Cinética Química, nos quais a compreensão de processos em nível microscópico se mostra fundamental.

3.6 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, constitui um referencial central para compreender como novos conhecimentos são incorporados à estrutura cognitiva dos estudantes. Segundo o autor, a aprendizagem ocorre de forma significativa quando as novas informações se relacionam de maneira substantiva e não-arbitrária com conhecimentos previamente existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, denominados subsunçores. Diferentemente da aprendizagem mecânica, onde informações são memorizadas com pouca ou nenhuma conexão com conhecimentos anteriores, a aprendizagem significativa implica reorganização cognitiva e atribuição de sentido aos conceitos científicos (Moreira, 1999, 2011).

A noção de não arbitrariedade refere-se à exigência de que o novo conhecimento estabeleça relações com ideias especificamente relevantes já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, evitando associações superficiais ou aleatórias. Já a substantividade indica que o processo de aprendizagem não se limita à assimilação literal de termos ou definições, mas envolve a incorporação de significados, os quais podem ser expressos por diferentes formas linguísticas sem perda de conteúdo conceitual (Moreira, 2011). Tais princípios evidenciam que

a aprendizagem significativa está centrada na construção de relações conceituais estáveis, e não na memorização de informações isoladas, aspecto particularmente relevante em áreas como a Química, cujos conteúdos demandam níveis elevados de abstração.

Embora Ausubel diferencie a aprendizagem significativa da mecânica, ambas se situam em um continuum. Em situações em que o conteúdo é totalmente novo, elementos inicialmente aprendidos de forma mais mecânica podem, posteriormente, atuar como subsunçores para aprendizagens mais complexas. Desse modo, a teoria não nega a memorização, mas a compreende como etapa possível de um processo mais amplo de construção de significados (Moreira, 1999).

No âmbito da Teoria da Aprendizagem Significativa, Ausubel também distingue diferentes tipos de aprendizagem em função da relação estabelecida entre os novos conhecimentos e a estrutura cognitiva do aprendiz, a qual tende a organizar-se hierarquicamente em termos de nível de abstração, generalidade e inclusividade. Nesse contexto, a aprendizagem subordinada ocorre quando novas informações são assimiladas a conceitos mais gerais já existentes, sendo o tipo mais comum no contexto escolar. A aprendizagem subordinada pode ser derivativa, quando o novo conteúdo apenas confirma ou exemplifica conhecimentos já estabelecidos, ou correlativa, quando promove ampliação, modificação ou refinamento de conceitos previamente aprendidos (Moreira, 2011).

A aprendizagem superordenada, bem menos comum que a subordinada, por sua vez, caracteriza-se pela construção de conceitos mais abrangentes que passam a organizar conhecimentos previamente adquiridos, desempenhando papel importante na formação de conceitos e na integração de ideias que, inicialmente, podem parecer desconexas ou contraditórias. Já a aprendizagem combinatória ocorre quando o novo conteúdo se relaciona com ideias já existentes, sem que haja uma relação hierárquica clara entre elas, não sendo, portanto, nem subordinada nem superordenada em relação à estrutura cognitiva do aprendiz, (Moreira, 2011).

Para que a aprendizagem significativa ocorra, três condições são fundamentais: o material deve ser potencialmente significativo, o estudante precisa dispor de subsunçores relevantes e deve apresentar predisposição para aprender significativamente. O material potencialmente significativo caracteriza-se por sua organização lógica e clareza, possibilitando sua ancoragem na estrutura cognitiva do aprendiz. Já a predisposição envolve dimensões cognitivas e afetivas, relacionadas ao interesse, à motivação e ao engajamento do estudante. A ausência de qualquer uma dessas condições compromete a ocorrência da aprendizagem significativa, podendo resultar em aprendizagem mecânica (Ausubel, 2003; Moreira 1999).

Nesse contexto, destacam-se os organizadores prévios, propostos por Ausubel como instrumentos introdutórios que visam facilitar a aprendizagem significativa. Diferentemente de simples introduções ou resumos, esses recursos são apresentados em um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusividade, tendo como função estabelecer pontes cognitivas entre os conhecimentos prévios do estudante e o novo conteúdo a ser aprendido. Dessa forma, podem tanto fornecer ideias âncora relevantes quanto explicitar relações entre conceitos já presentes na estrutura cognitiva e aqueles introduzidos no material de ensino (Ausubel, 2003; Moreira, 1999).

A ocorrência da aprendizagem significativa pode ser identificada por meio de evidências como a capacidade do estudante de explicar conceitos com suas próprias palavras, estabelecer relações entre diferentes conteúdos, aplicar conhecimentos em novos contextos e revisar concepções anteriores.

Para além da simples memorização de definições, tais evidências indicam que o aprendiz compreende os significados subjacentes aos conceitos, sendo capaz de utilizá-los para interpretar situações, explicar fenômenos e resolver problemas. Nesse sentido, a transferência do conhecimento para contextos distintos daquele em que foi inicialmente apresentado constitui um indicativo relevante de compreensão, permitindo diferenciar a aprendizagem significativa da mera reprodução mecânica de informações. Assim, esses indicadores evidenciam não apenas a retenção de conteúdos, mas a reorganização da estrutura cognitiva do aprendiz (Moreira, 2011).

Nesse sentido, o papel do professor assume centralidade, não como transmissor de conteúdos, mas como mediador que organiza experiências de aprendizagem capazes de ativar conhecimentos prévios, promover relações conceituais e favorecer a reconstrução das ideias dos estudantes. Isso implica identificar subsunçores disponíveis, estruturar sequências didáticas coerentes e utilizar estratégias que estimulem a reflexão, a problematização e a elaboração conceitual (Moreira, 1999).

Sob essa perspectiva, a aprendizagem significativa configura-se como um processo dinâmico de reorganização cognitiva, no qual novos conhecimentos transformam estruturas existentes e ampliam a capacidade de compreensão do estudante. Tal entendimento reforça a necessidade de propostas pedagógicas que ultrapassem a memorização e criem condições para que os alunos atribuam sentido aos conceitos científicos, possibilitando sua aplicação em diferentes contextos.

Assim, a Teoria da Aprendizagem Significativa oferece um referencial fundamental para a organização de propostas didáticas que integrem metodologias investigativas e recursos

digitais no ensino de Química. Ao considerar a importância dos conhecimentos prévios, da mediação pedagógica e da construção de significados, essa teoria fundamenta o uso de estratégias como a abordagem Predizer, Observar e Explicar (POE), especialmente quando articulada a simuladores computacionais, contribuindo para a compreensão de conceitos abstratos, como os envolvidos na Cinética Química.

3.6.1 Diferenciação progressiva e reconciliação integradora

No âmbito da Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, destacam-se dois processos fundamentais para a reorganização cognitiva: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Esses mecanismos explicam como os conhecimentos são estruturados, refinados e articulados na mente do aprendiz ao longo do processo educativo, sendo também compreendidos como princípios programáticos que orientam a organização do ensino (Ausubel, 2003; Moreira, 2011, 2012).

A diferenciação progressiva refere-se ao movimento pelo qual conceitos mais gerais e inclusivos tornam-se progressivamente mais específicos e detalhados. Esse processo está relacionado à própria organização hierárquica da estrutura cognitiva, na qual ideias mais abrangentes ocupam níveis superiores e passam a incorporar conceitos mais específicos. Assim, novos conhecimentos são assimilados a partir de subsunçores já estabelecidos, que, ao serem sucessivamente utilizados, tornam-se mais diferenciados, refinados e capazes de ancorar novas aprendizagens (Moreira, 2011). Trata-se de um processo contínuo de enriquecimento conceitual, comum em contextos escolares, especialmente no ensino de Ciências.

Por sua vez, a reconciliação integradora envolve a articulação entre conceitos que, embora relacionados, podem ter sido aprendidos de forma fragmentada ou até aparentemente contraditória. Esse processo consiste na superação de inconsistências, na identificação de semelhanças e diferenças relevantes e na integração de significados, promovendo a construção de estruturas cognitivas mais coerentes e estáveis. Ao reconciliar diferentes informações, o estudante reorganiza seus esquemas conceituais, estabelecendo relações mais amplas e significativas entre os conhecimentos (Moreira, 2011; 2012).

A diferenciação progressiva está mais relacionada à aprendizagem significativa subordinada, na qual novos conhecimentos adquirem significado ao se relacionarem a ideias mais gerais já existentes, sendo o processo predominante nos contextos escolares. Já a reconciliação integradora se relaciona à aprendizagem superordenada, na qual conceitos mais

abrangentes passam a reorganizar conhecimentos previamente adquiridos, embora ocorra com menor frequência (Moreira, 2012).

Tais processos não ocorrem de forma isolada, mas simultânea e complementar na dinâmica da estrutura cognitiva. Enquanto a diferenciação progressiva promove o refinamento e a especificação dos significados, a reconciliação integradora favorece a integração e a coerência conceitual. O equilíbrio entre esses movimentos é essencial para a construção do conhecimento, uma vez que a ênfase exclusiva na diferenciação pode levar à fragmentação conceitual, enquanto a predominância da integração pode resultar em generalizações excessivas (Moreira, 2012).

No ensino de Química, marcado pela presença de múltiplos níveis de representação e por conteúdos de natureza abstrata, esses processos assumem especial relevância. Estratégias didáticas que mobilizam conhecimentos prévios, promovem o confronto de ideias e incentivam a elaboração de explicações favorecem tanto o refinamento conceitual quanto a integração de significados, contribuindo para a construção de compreensões mais profundas dos fenômenos químicos.

Assim, compreender a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora permite não apenas analisar a ocorrência da aprendizagem significativa, mas também compreender como os conhecimentos são estruturados e reorganizados ao longo do processo educativo. Nessa perspectiva, tais processos constituem importantes referenciais teóricos para a análise da evolução conceitual dos estudantes, possibilitando identificar evidências de aprofundamento, reorganização e integração dos conhecimentos no ensino de Química.

4. METODOLOGIA

4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, uma vez que utiliza conhecimentos da pesquisa básica com o objetivo de contribuir para a compreensão e resolução de problemas identificados no contexto social do pesquisador (Gil, 2017).

Para alcançar os objetivos propostos, adota-se uma abordagem qualitativa de caráter descritivo, buscando compreender de que maneira a utilização de simuladores computacionais pode favorecer a aprendizagem significativa de conceitos de Cinética Química entre estudantes do ensino médio. Essa abordagem privilegia a compreensão indutiva e interpretativa dos dados, considerando fatos, ideias e percepções dos participantes em relação ao fenômeno investigado (Soares, 2019).

Segundo Creswell (2007), baseado nas ideias de Rossman e Rallis (1998), a pesquisa qualitativa configura-se como um processo essencialmente interpretativo, no qual o pesquisador assume papel central na produção e análise dos dados em contextos naturais. Essa imersão no ambiente dos participantes possibilita compreender experiências, significados e relações que estruturam o fenômeno investigado, ultrapassando a mera descrição dos fatos. Nessa direção, Rodrigues, Oliveira e Santos (2021) ressaltam que pesquisar qualitativamente implica observar, descrever e realizar práticas interpretativas com o propósito de compreender os significados atribuídos ao fenômeno analisado.

Quanto ao método, optou-se pela pesquisa-ação, compreendida como uma abordagem que articula investigação e intervenção no contexto estudado, com vistas à produção de conhecimentos situados e ao aprimoramento das práticas desenvolvidas (Gil, 2017; Thiollent, 2025; Rosa et al., 2024). Trata-se de um tipo de pesquisa social de base empírica, concebida em estreita associação com a resolução de problemas coletivos, na qual pesquisadores e participantes da situação investigada se envolvem de modo cooperativo e participativo (Thiollent, 2025).

Nessa perspectiva, o pesquisador assume papel ativo no processo investigativo, atuando no planejamento, na implementação, no acompanhamento e na avaliação das ações desenvolvidas. Assim, a pesquisa-ação organiza-se em torno de uma ação intencional e não trivial, cuja elaboração e condução demandam investigação sistemática voltada à compreensão e ao enfrentamento de uma situação-problema no contexto real em que ela ocorre (Thiollent, 2025).

No campo educacional, a pesquisa-ação mostra-se especialmente pertinente por possibilitar a reflexão sistemática sobre a prática pedagógica, envolvendo os participantes no processo investigativo e contribuindo para o desenvolvimento profissional docente (Tripp, 2005). Nessa perspectiva, essa abordagem ultrapassa a coleta de dados tradicional ao promover a produção de conhecimentos articulados às demandas concretas do contexto escolar, favorecendo a transformação das práticas educativas por meio de ações planejadas, acompanhadas e avaliadas de forma colaborativa.

No que se refere ao grau de participação dos sujeitos envolvidos, reconhece-se que a presente investigação não se configura como uma pesquisa-ação plenamente colaborativa, uma vez que as decisões iniciais relativas à definição do problema e ao planejamento da intervenção foram conduzidas pela pesquisadora. Contudo, os participantes foram envolvidos ao longo do processo investigativo, sendo informados sobre os objetivos da pesquisa e contribuindo com sugestões, percepções e feedbacks durante a implementação das ações.

Nessa perspectiva, a pesquisa-ação pode assumir diferentes formas de participação e implicação dos sujeitos envolvidos, variando desde propostas mais conduzidas pelo pesquisador até abordagens de caráter mais colaborativo e participativo (El Andaloussi, 2004; Tripp, 2005). Assim, esta investigação aproxima-se de uma pesquisa-ação de natureza prática, na qual o pesquisador planeja e conduz intervenções fundamentadas em sua experiência profissional, ao mesmo tempo em que considera as contribuições dos participantes para o aprimoramento da prática educativa (Tripp, 2005).

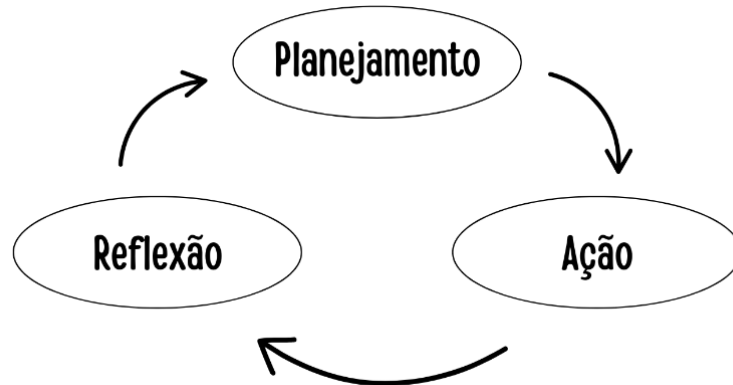
Nesse sentido, a participação dos estudantes pode ser compreendida em níveis de cooperação e cooptação, uma vez que, embora não tenham atuado como co-pesquisadores na definição inicial da proposta, participaram ativamente do processo investigativo por meio das interações desenvolvidas durante a execução da sequência didática, das observações realizadas e dos feedbacks produzidos ao longo das atividades.

Além disso, a pesquisa-ação desenvolvida caracteriza-se por um movimento contínuo de diagnose, planejamento, implementação e reflexão, no qual as ações desenvolvidas são continuamente analisadas e reavaliadas com vistas ao aprimoramento da prática pedagógica (Rosa et al., 2023; Tripp, 2005). Tal dinâmica evidencia o caráter deliberativo da pesquisa-ação, uma vez que as decisões pedagógicas foram sendo tomadas ao longo do processo, considerando as necessidades emergentes e buscando o aprimoramento das práticas educativas.

Conforme destacam Rosa et al., (2023), a Pesquisa-ação parte de um movimento de diagnose que pressupõe a necessidade de mudança no cenário investigado, seja para solucionar problemas práticos ou para melhorar uma situação específica. Ainda segundo os autores,

embora existam diferentes formas de condução da pesquisa-ação, todas seguem um ciclo reflexivo que envolve a identificação do problema, o planejamento, sua implementação e a avaliação das ações desenvolvidas. Nesse sentido, Costa, Politano e Pereira (2014), com base em Dick (2000), apresentam um ciclo simplificado da Pesquisa-ação, ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Ciclo simplificado da Pesquisa-ação baseado em Dick (2000).



Fonte: Adaptado de Costa, Politano e Pereira (2014).

De modo complementar, Costa, Politano e Pereira (2014), apoiados em McKay e Marshall (2001), descrevem fases que detalham esse percurso investigativo, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Etapas de uma Pesquisa-ação adaptado de McKay e Marshall (2001).



Fonte: Costa, Politano e Pereira (2014).

No que se refere às etapas da pesquisa-ação, a fase de planejamento preocupa-se em sistematizar as ações que serão desenvolvidas para enfrentar os problemas identificados no contexto investigado. Já a etapa de implementação corresponde à execução das ações previamente planejadas, possibilitando acompanhar os efeitos da intervenção e refletir

continuamente sobre a prática desenvolvida (Ferreira, 2018). Nesse movimento cíclico, planejamento, ação, observação e reflexão articulam-se de forma contínua, permitindo reorientações ao longo do processo investigativo.

A pesquisa-ação, portanto, estrutura-se como uma espiral reflexiva que busca melhorar as práticas e ampliar a compreensão sobre o fenômeno investigado (Kemmis, 1988 apud Moreira e Rosa, 2016).

No contexto dessa investigação, sua adoção justifica-se pela necessidade de compreender os processos de aprendizagem em situação real de sala de aula, ao mesmo tempo em que se implementa uma sequência didática estruturada na metodologia Predizer, Observar e Explicar (POE), mediada por simuladores computacionais. Esse delineamento possibilita acompanhar o percurso investigativo dos estudantes e analisar evidências de mobilização de conhecimentos prévios, confronto de ideias e reorganização conceitual, aspectos centrais para a análise da aprendizagem significativa. Assim, a pesquisa ultrapassa a simples descrição de resultados, buscando interpretar como as interações pedagógicas contribuem para a construção de significados científicos.

4.2 CONTEXTO DA PESQUISA E CUIDADOS ÉTICOS

De acordo com a Proposta Curricular e Pedagógica do Ensino Médio do Estado do Amazonas (2021), os conteúdos de Cinética Química, como velocidade média das reações, teoria das colisões e fatores que influenciam a velocidade das reações, são previstos para a 2ª série do ensino médio. Nesse contexto, a pesquisa foi desenvolvida com uma turma da 2ª série do turno matutino da Escola Estadual Vasco Vasques, pertencente à Coordenadoria Distrital de Educação 05, localizada na zona leste de Manaus, no bairro Jorge Teixeira.

A proposta de pesquisa foi apresentada à gestão escolar juntamente com as solicitações de autorização institucional (APÊNDICE A) e utilização da infraestrutura (APÊNDICE B). A escolha da turma justifica-se pela relevância dos conteúdos de Cinética Química no currículo do ensino médio e pelas dificuldades recorrentes observadas na aprendizagem desses conceitos, especialmente quando abordados por metodologias tradicionais de ensino. A realização da pesquisa no ambiente escolar possibilitou acompanhar os estudantes em situação real de aprendizagem, permitindo integrar simuladores computacionais às aulas de Química e analisar seus efeitos no processo investigativo e na construção de significados.

Os instrumentos utilizados para a coleta de dados não apresentaram riscos de ordem física. Contudo, reconhecem-se possíveis impactos emocionais ou psicossociais, como

insegurança diante da exposição de ideias, dificuldades relacionadas aos registros escritos ou receio de avaliação por parte dos participantes. Além disso, a utilização de gravações audiovisuais e registros em diário de campo poderia gerar sensação de exposição ou preocupação relacionada à privacidade.

Em conformidade com os princípios éticos que regem pesquisas e trabalhos acadêmicos envolvendo seres humanos, o estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, obtendo parecer favorável sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 85628424.4.0000.8119. Os dados coletados foram utilizados exclusivamente para fins acadêmicos, assegurando a confidencialidade das informações e anonimato dos participantes. Seguindo as orientações do Comitê de Ética, foram apresentados aos estudantes e seus responsáveis o termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) (APÊNDICE C) e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE D), assegurando ciência quanto aos objetivos, procedimentos, riscos e benefícios da pesquisa, bem como o direito à livre decisão de participação.

4.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática desenvolvida no decorrer da pesquisa, voltada ao ensino de Cinética Química no Ensino Médio, foi concebida como estratégia de intervenção pedagógica fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel, que enfatiza a relação entre conhecimentos prévios e novos conteúdos como condição para a construção de significados. Nessa perspectiva, a organização das atividades buscou mobilizar concepções iniciais, promover o confronto com evidências e favorecer a reconstrução conceitual progressiva, valorizando os conhecimentos prévios dos estudantes como elementos centrais para a ancoragem de novos significados.

Compreendida como um conjunto de atividades ordenadas e articuladas em torno de objetivos educacionais específicos, a sequência didática foi planejada segundo a perspectiva de Antoni Zabala, contemplando momentos de início, desenvolvimento e sistematização claramente definidos para professores e estudantes. Sua organização foi orientada pela metodologia POE (Predizer, Observar e Explicar), conforme descrita por Haysom e Bowen (2010), e integrou como recurso tecnológico o simulador interativo desenvolvido pelo projeto PhET Interactive Simulations. A escolha do simulador justifica-se por sua capacidade de representar fenômenos submicroscópicos e dinâmicos de difícil visualização em aulas

tradicionais, favorecendo a interação dos estudantes com diferentes variáveis relacionadas à Cinética Química.

A articulação entre a sequência didática e a pesquisa-ação ocorreu de forma contínua ao longo da investigação. A etapa de diagnose fundamentou-se no conhecimento prévio da pesquisadora acerca da turma, do contexto escolar e das dificuldades recorrentes apresentadas pelos estudantes em relação aos conteúdos de Cinética Química, decorrentes de sua atuação no ambiente investigado. Complementarmente, o questionário diagnóstico aplicado na etapa “Prever” da metodologia POE possibilitou mobilizar os conhecimentos prévios dos estudantes e identificar concepções iniciais relevantes para o desenvolvimento da intervenção pedagógica.

Ao longo da intervenção, os participantes também puderam contribuir com sugestões e percepções acerca da condução das atividades, especialmente nos momentos de discussão coletiva e realização das simulações. Essas contribuições influenciaram decisões relacionadas à organização das atividades, como a realização das simulações em grupos, favorecendo maior interação, colaboração e participação dos estudantes ao longo da intervenção.

A proposta foi estruturada em sete encontros distribuídos nas três etapas do método POE, contemplando objetivos específicos, descrição das atividades e instrumentos de coleta de dados. O Quadro 1 apresenta a organização geral da intervenção, evidenciando a articulação entre as ações pedagógicas e os procedimentos investigativos adotados, bem como a integração entre objetivos de ensino, etapas investigativas e instrumentos de produção de dados.

Quadro 1 - Sequência didática baseada na metodologia POE com uso do simulador PHeT

Etapas	Encontros	Objetivo da etapa	Descrição das atividades	Coleta de dados
1. Prever (Diagnóstico e formulação de hipóteses)	2 encontros (45 minutos cada)	Investigar os conhecimentos prévios dos alunos sobre reações químicas e os fatores que influenciam sua velocidade, estimulando a formulação de hipóteses com base em situações do cotidiano.	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de questionário diagnóstico com 8 questões abertas (Apêndice E). • Discussão em pequenos grupos para socialização das ideias. • Sistematização coletiva das hipóteses no quadro, sem validação imediata. 	Questionário diagnóstico; diário de campo da pesquisadora.
2. Observar (Testar hipóteses e analisar fenômenos com simulador)	3 encontros (45 minutos cada)	Permitir a observação de fenômenos químicos por meio de simulações, possibilitando o confronto entre hipóteses iniciais e evidências empíricas.	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do simulador “Reações e Taxas”. • Formação de grupos e entrega da ficha de exploração (Apêndice F). • Exploração livre do simulador e registro de observações. 	Fichas de observação; diário de campo da pesquisadora.

			<ul style="list-style-type: none"> • Compartilhamento das descobertas e construção coletiva de tabela comparativa. 	
3. Explicar (Sistematização e reconstrução conceitual)	2 encontros (45 minutos cada)	Consolidar a aprendizagem por meio da reflexão crítica e reconstrução conceitual fundamentada nos dados coletados.	<ul style="list-style-type: none"> • Retomada das hipóteses da Etapa 1. • Confronto com os dados das simulações, guiado por perguntas orientadoras. • Sistematização dos conceitos científicos sobre Cinética Química. • Produção ativa dos alunos por meio de apresentações em grupo, com base nas simulações. 	Fichas de aulas dos alunos; gravações audiovisuais das apresentações; diário de campo da pesquisadora; produções dos grupos (cartazes).

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A organização da sequência em três etapas progressivas foi delineada de modo a possibilitar a identificação de conhecimentos prévios, o acompanhamento do confronto cognitivo e a análise da reconstrução conceitual, em consonância com o problema de pesquisa que investiga a promoção de aprendizagem significativa por meio da integração entre metodologia ativa e simuladores.

Etapa 1 – Prever: diagnóstico e formulação de hipóteses

A etapa “Prever” constituiu o momento inicial da intervenção, no qual os estudantes foram instigados a mobilizar seus conhecimentos prévios sobre reações químicas e fatores que influenciam sua velocidade, a partir de situações contextualizadas do cotidiano. O objetivo foi favorecer a elaboração de hipóteses explicativas e identificar concepções iniciais relevantes para a análise da aprendizagem.

No primeiro encontro, foi aplicado um questionário diagnóstico (APÊNDICE E) composto por oito questões abertas relacionadas a fenômenos cotidianos envolvendo Cinética Química, contemplando fatores como temperatura, concentração e superfície de contato. O instrumento possibilitou registrar as ideias iniciais dos estudantes e compôs o corpus de análise.

No segundo encontro, os estudantes discutiram suas respostas em pequenos grupos, promovendo a socialização de hipóteses e o diálogo entre pares. Posteriormente, realizou-se uma discussão coletiva mediada pela professora, com sistematização das diferentes explicações no quadro. Nesse momento, não houve correção ou validação das respostas, preservando o caráter investigativo da etapa e garantindo que as previsões pudessem ser retomadas posteriormente.

Etapa 2 – Observar: testagem de hipóteses com o uso do simulador

Na etapa “Observar”, os estudantes confrontaram as hipóteses formuladas com evidências empíricas por meio da exploração de simulações interativas. Essa fase teve como objetivo possibilitar a análise dos efeitos de diferentes variáveis sobre a velocidade das reações químicas e favorecer a construção de relações entre fenômeno e modelo explicativo.

O terceiro encontro foi destinado à apresentação do simulador, com orientação sobre funcionalidades, manipulação de variáveis e interpretação das representações gráficas. Buscou-se garantir familiarização com a interface e compreensão dos recursos disponíveis.

No quarto encontro, os estudantes foram organizados em grupos e receberam uma ficha de exploração contendo questões orientadoras voltadas à investigação dos fatores cinéticos (APÊNDICE F). Durante a atividade, os grupos manipularam variáveis como temperatura, concentração e presença de catalisador, registrando observações qualitativas, comparativas e explicativas.

O quinto encontro foi dedicado à socialização dos resultados. Os grupos apresentaram suas conclusões, enquanto a professora organizou uma tabela comparativa coletiva para sistematizar padrões, diferenças e interpretações. Esse momento de confronto entre hipóteses e evidências constituiu um momento central para o processo de reconstrução conceitual.

Etapa 3 – Explicar: sistematização e reconstrução conceitual

A etapa “Explicar” foi destinada à reflexão crítica sobre as observações realizadas, favorecendo a reconstrução conceitual dos estudantes à luz dos dados obtidos nas simulações e das hipóteses formuladas inicialmente.

No sexto encontro, as previsões registradas na etapa inicial foram retomadas, permitindo que os estudantes comparassem suas ideias com os resultados observados. Perguntas orientadoras estimularam a análise de confirmações, refutações e reformulações conceituais, promovendo explicações fundamentadas.

A partir do debate coletivo, a professora sistematizou os conceitos científicos formais relacionados à influência de fatores como temperatura, concentração, superfície de contato e catalisadores na velocidade das reações, articulando as explicações teóricas às evidências produzidas pelos estudantes.

No sétimo encontro, foi proposta uma atividade de produção ativa, na qual os grupos aplicaram os conceitos a novos contextos e apresentaram sínteses explicativas baseadas nas

simulações. Essa produção constituiu importante evidência de reorganização conceitual e integrou o conjunto de dados analisados na pesquisa.

De modo geral, a sequência didática configurou simultaneamente instrumento de intervenção pedagógica e de coleta de dados, permitindo acompanhar as interações, produções e evidências de aprendizagem significativa manifestadas pelos estudantes ao longo das etapas do método POE. A sistematização dessa experiência fundamentou, posteriormente, a elaboração do Produto Educacional apresentado no Capítulo 5.

4.4 O SIMULADOR PHET

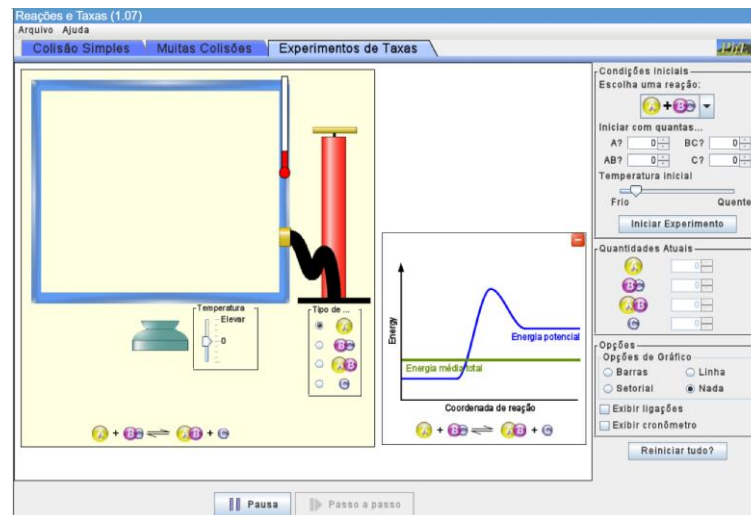
O simulador utilizado nesta pesquisa pertence ao projeto PhET Interactive Simulations, desenvolvido pela Universidade do Colorado Boulder e fundado em 2002 pelo físico Carl Wieman, laureado com o Prêmio Nobel de Física. O projeto disponibiliza simulações interativas gratuitas voltadas ao ensino de Ciências e Matemática, fundamentadas em pesquisas na área de educação científica e elaboradas com o objetivo de favorecer a aprendizagem por meio da exploração e da descoberta (PhET Interactive Simulations, 2026).

As simulações do projeto PhET caracterizam-se pela interatividade e pela possibilidade de representação visual de fenômenos abstratos e submicroscópicos, frequentemente de difícil compreensão em abordagens tradicionais de ensino. O ambiente virtual permite aos estudantes manipular variáveis, observar mudanças em tempo real e estabelecer relações entre diferentes formas de representação dos conceitos científicos, favorecendo processos investigativos e exploratórios. Além disso, as simulações oferecem feedback imediato às ações realizadas pelos usuários, possibilitando a visualização de relações de causa e efeito e contribuindo para a compreensão dinâmica dos fenômenos estudados. Recursos como gráficos, animações e instrumentos de medição virtuais favorecem a articulação entre representações macroscópicas, submicroscópicas e simbólicas dos conceitos químicos (Afonso; Lima, 2023; PhET Interactive Simulations, 2026).

Nesta pesquisa, foi utilizada a simulação “Reações e Taxas” (Reactions & Rates), apresentada na Figura 3, voltada à exploração de conceitos relacionados à Cinética Química, como teoria das colisões, energia de ativação e influência de fatores na velocidade das reações químicas. A escolha desse recurso fundamentou-se em sua potencialidade para representar fenômenos relacionados à Cinética Química de forma dinâmica e interativa, permitindo aos estudantes explorar variáveis que influenciam a velocidade das reações químicas, como temperatura, concentração e energia de ativação. O simulador favorece a experimentação

virtual e a formulação de hipóteses, possibilitando que os estudantes observem o comportamento das partículas e estabeleçam relações entre modelos explicativos e fenômenos observáveis, aspectos coerentes com os pressupostos da metodologia POE e da Aprendizagem Significativa.

Figura 3 - Interface da simulação “Reações e Taxas” utilizada na pesquisa



Fonte: PhET Interactive Simulations (2026). Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/reactions-and-rates

As atividades com o simulador foram realizadas no laboratório de informática da escola, utilizando os computadores disponíveis no espaço, bem como dispositivos móveis dos próprios estudantes. Durante a intervenção, os alunos exploraram a simulação em grupos, estratégia definida ao longo do desenvolvimento das atividades a partir das interações, percepções e sugestões apresentadas pelos próprios participantes, favorecendo a colaboração, a discussão coletiva e a construção compartilhada de explicações acerca dos fenômenos observados.

4.5 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

Na pesquisa-ação, os procedimentos de coleta de dados caracterizam-se pela utilização de múltiplas técnicas e instrumentos, sendo semelhantes aos métodos empregados em outros tipos de pesquisa qualitativa, possibilitando o acompanhamento contínuo das ações desenvolvidas e das interações estabelecidas no contexto investigado (Rosa et al., 2023).

Conforme Creswell (2007), a investigação qualitativa caracteriza-se pelo uso de múltiplas fontes de dados, o que possibilita uma compreensão mais aprofundada do fenômeno estudado. Nesse sentido, ao longo da intervenção pedagógica, foram utilizados diferentes

instrumentos de coleta de dados, de modo a acompanhar as interações, as produções dos alunos e a evolução conceitual ao longo das etapas da sequência didática baseada na metodologia POE.

Os instrumentos de coleta de dados foram selecionados de modo a acompanhar diferentes dimensões do processo investigativo e da construção conceitual dos estudantes ao longo da sequência didática. Na etapa “Prever”, foi aplicado um questionário diagnóstico com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos participantes. Durante a etapa “Observar”, utilizaram-se fichas de exploração e registros escritos produzidos pelos estudantes a partir da interação com o simulador PhET. Além disso, as discussões em grupo e os momentos de socialização das atividades foram registrados por meio de gravações audiovisuais, permitindo acompanhar as interações, argumentações e reformulações conceituais dos estudantes. Paralelamente, a pesquisadora manteve um diário de campo ao longo de toda a intervenção, registrando percepções, comportamentos, intervenções pedagógicas e aspectos relevantes observados durante as aulas.

A observação adotada caracterizou-se como observação participativa, uma vez que a pesquisadora atuou diretamente como mediadora das atividades, acompanhando e registrando as ações, falas e comportamentos dos alunos durante o desenvolvimento das aulas. Os registros foram realizados por meio de notas de campo, permitindo captar tanto aspectos espontâneos das interações quanto elementos relacionados aos objetivos da pesquisa (Creswell, 2007).

A utilização de múltiplas técnicas de coleta de dados possibilitou a triangulação das informações, fortalecendo a consistência interpretativa dos resultados obtidos. A integração de diferentes fontes de dados permitiu uma análise mais robusta e uma compreensão ampliada do processo de construção dos conceitos de Cinética Química pelos estudantes (Gil, 2017).

4.6 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS

O processo de análise de dados foi conduzido com base em uma abordagem qualitativa, contemplando diferentes etapas que possibilitaram produzir compreensões acerca das informações coletadas, de natureza textual e audiovisual, produzidas ao longo do desenvolvimento da sequência didática. A preparação e organização dos dados constituíram o ponto inicial do processo analítico, seguida da aplicação de técnicas que permitiram a interpretação aprofundada dos discursos e das produções dos participantes (Creswell, 2007).

Neste estudo, foi adotada a técnica de Análise Textual Discursiva (ATD), conforme proposta por Moraes e Galiazzi (2016), por se tratar de um método adequado à compreensão de fenômenos educacionais a partir das falas, registros escritos e interações dos sujeitos

envolvidos. Segundo os autores, a ATD não se propõe a testar hipóteses, mas a promover a reconstrução de conhecimentos e a produção de novas compreensões acerca dos fenômenos investigados.

A ATD se insere em um campo intermediário entre a análise de conteúdo e a análise de discurso, caracterizando-se como um processo hermenêutico e interpretativo, cujo foco está na construção de sentidos a partir dos discursos dos participantes e dos registros produzidos no contexto da pesquisa (Moraes e Galiuzzi, 2016).

A aplicação da ATD ocorreu por meio de três movimentos principais: (a) desmontagem dos textos, correspondente à unitarização dos dados, a partir das respostas aos questionários diagnósticos, registros escritos dos alunos, transcrições de falas oriundas dos debates e anotações do diário de campo da pesquisadora; (b) estabelecimento de relações, com a organização das unidades de sentido em categorias emergentes e categorias a priori, definidas a partir do referencial teórico da aprendizagem significativa, relacionadas aos conhecimentos prévios, às hipóteses formuladas, à reconstrução conceitual e às evidências de aprendizagem significativa observadas ao longo das etapas da intervenção; e (c) captação do novo emergente, materializada na elaboração de metatextos interpretativos que permitiram compreender os processos de aprendizagem significativa dos estudantes em Cinética Química.

Com vistas a conferir maior consistência à análise, foi realizada a triangulação dos dados, articulando informações provenientes dos questionários, produções escritas dos alunos, observações participantes e registros de campo. Essa estratégia possibilitou uma visão ampliada das interações, produções e transformações conceituais manifestadas pelos estudantes durante a sequência didática, fortalecendo a consistência interpretativa dos resultados obtidos. Os instrumentos foram selecionados de modo a permitir o acompanhamento das evidências de mobilização de conhecimentos prévios, confronto de ideias e reconstrução conceitual, aspectos centrais à análise da aprendizagem significativa no presente estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa, construídos a partir da Análise Textual Discursiva (ATD), conforme Moraes e Galiuzzi (2016), com base nas produções de 32 estudantes participantes da investigação.

5.1 ANÁLISE DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS DOS ESTUDANTES

Com base nas respostas ao questionário inicial, aplicado na etapa Prever da metodologia POE, realizou-se uma análise qualitativa orientada pelos pressupostos da ATD. A partir dos textos produzidos pelos estudantes, foram identificadas unidades de sentido que revelam núcleos significativos presentes nos discursos dos estudantes. Posteriormente, essas unidades foram organizadas em categorias emergentes, construídas a partir da recorrência temática e da intencionalidade discursiva dos sujeitos, admitindo-se que uma mesma resposta pudesse contribuir para mais de uma categoria analítica. Os percentuais indicados correspondem à proporção de unidades de sentido agrupadas em cada categoria emergente, considerando que uma mesma resposta poderia originar múltiplas unidades analíticas e, conseqüentemente, integrar diferentes categorias.

O Quadro 2 apresenta um recorte representativo das diferentes formas de compreensão dos estudantes referentes à Questão 1 do questionário diagnóstico: Para você, o que é uma reação química e como ela ocorre?

Quadro 2 - Categorias emergentes referentes às concepções dos estudantes sobre reações químicas

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Transformação de substâncias.	Reação química entendida como transformação de substâncias, envolvendo formação de novos produtos, quebra ou formação de ligações, mudança nas propriedades da matéria.	“substâncias chamadas de reagentes se transformam em novas substâncias” (A3)	19%
2. Mistura ou junção de substâncias como gatilho da reação.	A reação química é compreendida como misturar coisas, unir ingredientes, juntar elementos, sem aprofundamento conceitual sobre transformação química.	“2 ou mais substâncias se misturam” (A4)	53%
3. Exemplificação com situações cotidianas.	Explicações baseadas em fenômenos cotidianos: cozinha, digestão, bolo, efervescência, reações simples observáveis no cotidiano para explicar o conceito.	“um antiácido estomacal, quando entra na água, lentamente se dissolve, mudando a água.” (A9)	25%

4. Concepções alternativas ou imaginativas.	Respostas vagas, metafóricas ou com compreensão parcial. Incluem explicações fantasiosas, mistura de ideias físicas e químicas, termos sem contexto, ou associações equivocadas ao conceito de reação química.	“creio eu que ocorre tipo uma espécie de transe entre eles, causando reação.” (A17)	25%
5. Reação como experimento ou observação visual.	Compreensão da reação química centrada no caráter empírico e observacional da ciência, na qual o fenômeno é associado ao ato de experimentar ou visualizar mudanças.	“Para mim uma reação química é uma forma de aprender experiências químicas.” (A1)	31%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

As respostas revelam uma diversidade de interpretações acerca do conceito de reação química, oscilando entre compreensões próximas ao modelo científico e explicações baseadas em experiências cotidianas, intuições e concepções alternativas. Esse panorama evidencia diferentes níveis de elaboração conceitual entre os estudantes e reforça a pertinência da Análise Textual Discursiva para a compreensão dos sentidos atribuídos ao fenômeno.

Uma parcela dos estudantes (19%) apresentou compreensões mais próximas da abordagem científica (Categoria 1), ao relacionar a reação química a processos de transformação de substâncias, reconhecendo a existência de reagentes e produtos e a formação de novas substâncias. Embora nem sempre formuladas com rigor terminológico, essas respostas aproximam-se do modelo científico formalmente estabelecido no ensino de Química. Isso indica a presença de subsunçores potencialmente relevantes para a aprendizagem de conceitos mais formais de Química. Observa-se, nesses discursos, o uso de termos como reagente, produto e quebra de ligações, em consonância com definições clássicas do conceito (Feltre, 2004).

Entretanto, a concepção dominante (53%) compreende a reação química como uma simples mistura ou junção de substâncias, sem distinção clara entre fenômenos físicos e químicos (Categoria 2). Nessas respostas, a ideia de “misturar”, “juntar” aparece como condição suficiente para a ocorrência da reação, revelando uma compreensão predominantemente empírica do fenômeno. Essa dificuldade em articular transformações observáveis com mudanças em nível atômico-molecular é recorrente entre estudantes do Ensino Médio, conforme discutem Mortimer e Miranda (1995).

Outro aspecto relevante refere-se ao uso recorrente de exemplos do cotidiano como estratégia explicativa, presente em 25% das respostas (Categoria 3). Situações como preparo de alimentos, o uso de fermento em bolos ou reações efervescentes são mobilizadas como forma de atribuir sentido ao conceito de reação química. O recurso a situações cotidianas evidencia a tendência dos estudantes de interpretar fenômenos químicos a partir de experiências

observáveis, nas quais alterações visuais assumem papel central na atribuição de sentido às reações químicas. Esses conhecimentos contextualizados podem representar uma ponte importante para a construção de novos significados, conforme proposto por Ausubel (2003).

Paralelamente, emergem concepções alternativas e explicações de caráter imaginativo ou pouco estruturado, presentes em 25% das respostas (Categoria 4). Nessas falas, conceitos científicos são mesclados a ideias oriundas do senso comum ou de outras áreas do conhecimento, como a Física, evidenciando dificuldades conceituais e interpretações equivocadas. Observam-se respostas vagas ou metafóricas e algumas analogias fantasiosas, como “espécie de transe entre substâncias”. Conforme discutido na literatura, muitas das dificuldades dos estudantes na compreensão de fenômenos químicos estão associadas ao uso de termos oriundos do senso comum, cujos significados diferem daqueles atribuídos no contexto científico, podendo configurar obstáculos epistemológicos à aprendizagem. Nesse sentido, torna-se necessária a problematização dessas concepções no ambiente escolar, por meio de estratégias de ensino que favoreçam a superação de ideias alternativas, a construção de novos significados e a promoção da mudança conceitual (Guerra, et al., 2019; Hemann; Miotto; Martins, 2024; Treagust; Nieswandt; Duit, 2000).

Por fim, 31% das respostas basearam-se predominantemente em descrições de aspectos visuais associados a experiências experimentais previamente vivenciadas pelos estudantes (Categoria 5), indicando o impacto dessas experiências na construção do imaginário químico dos estudantes. Embora tais explicações ainda não revelem uma compreensão conceitual aprofundada, constituem uma etapa relevante no processo de aprendizagem, ao se apoiarem em dados empíricos para a construção de sentido.

De modo geral, predominam explicações fundamentadas na observação empírica e na ideia de mistura de substâncias, enquanto apenas parte dos estudantes mobiliza elementos próximos ao modelo científico. A coexistência de interpretações intuitivas, cotidianas e parcialmente conceituais evidencia uma estrutura cognitiva heterogênea, indicando a necessidade de estratégias didáticas que favoreçam a problematização dessas concepções e a construção progressiva de explicações químicas mais elaboradas.

A Questão 2 teve como objetivo investigar as concepções prévias dos estudantes acerca da influência da temperatura na velocidade das reações químicas, por meio de uma situação cotidiana relacionada ao estrago de frutas fora da geladeira. A análise das respostas permitiu identificar como os alunos articulam o efeito da temperatura com a rapidez das reações químicas e dos processos de decomposição (Quadro 3).

Quadro 3 - Categorias emergentes referentes à influência da temperatura na deterioração dos alimentos

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. A temperatura como reguladora do tempo de deterioração	O frio conserva/retarda a decomposição dos alimentos; o calor acelera o estrago (temperatura é fator central).	“...ela fica gelada e assim ela não vai se apodrecer rápido.” (A25)	84%
2. Microrganismos como agentes da decomposição	Explicações biológicas: calor favorece a proliferação de bactérias e fungos que causam apodrecimento.	“O calor favorece o crescimento de bactérias e fungos que aceleram a decomposição.” (A15)	28%
3. Concepções baseadas em fenômenos físicos observáveis	Foco em alterações físicas causadas pelo calor: evaporação da água, ressecamento e murchamento da fruta.	“...ela absorve o calor e absorvendo o calor ela evapora toda a água ... assim ela se estraga mais rápido...” (A12)	16%
4. Noções químicas iniciais e metáforas interpretativas	Mistura de saberes científicos iniciais (velocidade das reações) com explicações metafóricas (calor 'infiltra', 'proteínas morrem', 'átomos mexidos').	“...tipo o calor mexa com os átomos da fruta.” (A10)	19%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Da análise emergiram quatro categorias principais. A categoria “temperatura como reguladora do tempo de deterioração”, presente em 84% das respostas, evidencia a associação direta entre calor e aceleração do estrago dos alimentos, enquanto o frio é compreendido como fator de conservação. Embora formuladas de maneira intuitiva, essas explicações revelam uma compreensão inicial da relação entre temperatura e velocidade das reações químicas, indicando que os estudantes reconhecem empiricamente a influência da temperatura nos processos de decomposição.

Também se destacam respostas que atribuem a deterioração dos alimentos à ação de microrganismos, categoria identificada em 28% das produções analisadas. Nessas falas, fungos e bactérias são reconhecidos como agentes responsáveis pelo apodrecimento, sendo o calor associado à maior proliferação desses organismos. Embora nem sempre relacionem explicitamente os processos biológicos às transformações químicas envolvidas, os estudantes demonstram reconhecer a influência da temperatura na aceleração da decomposição.

Outra parcela dos estudantes apresentou explicações centradas em fenômenos físicos observáveis, categoria presente em 16% das respostas. Aspectos como ressecamento, perda de água e murchamento foram utilizados como justificativa para o estrago mais rápido das frutas quando expostos ao calor. Essas explicações revelam a centralidade da percepção sensorial na

interpretação do fenômeno, indicando dificuldades em relacionar aspectos observáveis às transformações químicas subjacentes.

Por sua vez, a categoria “noções químicas iniciais e metáforas interpretativas” (19%) reúne explicações híbridas, marcadas por analogias e impressões subjetivas, como o “calor infiltrado na fruta”, “as proteínas morrem” ou “a fruta vai derretendo”, o que segundo Guerra et al. (2019), ocorre com frequência na tentativa de explicar fenômenos científicos. Essas concepções podem representar tanto pontos de partida promissores quanto obstáculos conceituais, caso não sejam devidamente problematizados (Hemann; Miotto; Martins, 2024).

Em conjunto, as respostas demonstram que os estudantes interpretam a deterioração dos alimentos principalmente a partir de referências empíricas e experiências do cotidiano. Ainda assim, algumas explicações indicam aproximação iniciais conceitos da Cinética Química, especialmente no reconhecimento da influência da temperatura sobre a rapidez das transformações.

Dando continuidade à análise dos conhecimentos prévios dos estudantes, a Questão 3: “Em uma panela de pressão, os alimentos cozinham mais rapidamente. Como você acha que a pressão e a temperatura influenciam nesse processo?”, foi elaborada com o objetivo de aprofundar a compreensão dos estudantes acerca da relação entre temperatura, pressão e velocidade das transformações químicas em uma situação cotidiana. A questão possibilitou investigar como os participantes articulam esses fatores em um sistema submetido a condições modificadas, permitindo identificar compreensões mais próximas do modelo científico, bem como concepções alternativas passíveis de problematização ao longo da sequência didática.

Da análise emergiram cinco categorias que expressam diferentes formas de compreensão da relação entre pressão, temperatura e tempo de cozimento (Quadro 4).

Quadro 4 - Categorias emergentes referentes à influência da temperatura e da pressão no cozimento dos alimentos

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Pressão interna elevada aumenta a temperatura	Enunciados associam o aumento da pressão interna da panela à elevação da temperatura de ebulição da água, compreendendo esse fator como responsável pela aceleração do processo de cozimento.	“Com mais pressão, o calor é maior e penetra melhor nos alimentos, acelerando a comida.” (A6)	25%
2. Retenção de vapor e ambiente fechado aceleram o cozimento	Discursos que explicam o cozimento mais rápido a partir da ideia de que a panela de pressão funciona como um sistema fechado, reduzindo perdas de energia e aumentando a eficiência térmica.	“Se a panela está tampada, o calor não sai e fica preso lá dentro, fazendo cozinhar mais rápido.” (A12)	50%

3. Calor mais intenso atua diretamente nos alimentos	Respostas que atribuem o cozimento acelerado à presença de um calor mais intenso no interior da panela, sem estabelecer uma relação explícita pressão e temperatura.	“Devido ao grande calor dentro da panela, a comida fica pronta mais rapidamente.” (A16)	22%
4. Mudança física da água (vapor, fervura) acelera o cozimento	Compreende enunciados que destacam processos físicos observáveis, como a fervura da água e a formação de vapor, interpretados como fatores que contribuem para o cozimento mais rápido dos alimentos.	“A água ferve dentro da panela de pressão, o que acelera o cozimento.” (A15)	19%
5. Pressão concebida de forma independente da temperatura	Discursos nos quais a pressão é mencionada de forma isolada, sendo interpretada como uma ação mecânica que “pressiona”, “aperta” ou “amolece” o alimento, ou ainda citada sem articulação explícita com o aumento da temperatura.	“A pressão faz o alimento ser pressionado, amolecendo mais rápido.” (A8)	22%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A primeira categoria, “pressão interna elevada aumenta a temperatura”, reúne respostas que indicam o reconhecimento, ainda que intuitivo, da relação entre o aumento da pressão e a elevação da temperatura no interior da panela. Os discursos dessa categoria, correspondentes a 25% das respostas, expressam a ideia de que a pressão torna o ambiente mais quente, favorecendo o cozimento mais rápido. Embora essa relação não seja explicada em termos do aumento do ponto de ebulição da água, observa-se uma aproximação relevante com o modelo científico, constituindo subsunçores potencialmente relevantes para a abordagem formal de conceitos relacionados à Cinética Química.

A segunda categoria, “retenção de vapor e ambiente fechado aceleram o cozimento”, foi a mais recorrente (50%) e expressa a compreensão de que o fechamento da panela impede, segundo os próprios estudantes, a saída do “calor” e do vapor, criando um ambiente interno mais eficiente. Há uma associação do processo à retenção de energia térmica, indicando uma percepção empírica coerente com princípios físicos e termodinâmicos, ainda que não formalizados, dialogando diretamente com a noção de sistema fechado.

A terceira categoria, “calor mais intenso atua diretamente nos alimentos”, corresponde a 22% das respostas e atribui o cozimento acelerado exclusivamente à intensidade do calor no interior da panela, sem estabelecer explicitamente a relação entre pressão e temperatura. Nesses discursos, o foco recai sobre o efeito direto do calor nos alimentos, indicando uma compreensão simplificada, fortemente ancorada nas experiências cotidianas dos estudantes. Trata-se de uma concepção inicial que evidencia a importância atribuída à temperatura como fator determinante da velocidade dos processos, embora ainda desvinculada de interpretações científicas mais elaboradas.

A quarta categoria, “mudança física da água acelera o cozimento”, agrega 19% das respostas que relacionam o cozimento mais rápido à fervura da água e à formação de vapor. Nessas respostas, a fervura da água e a formação de vapor aparecem como elementos centrais do cozimento, evidenciando interpretações fundamentadas sobretudo em aspectos observáveis do fenômeno. Embora essa leitura se aproxime de aspectos relevantes do fenômeno, permanece restrita ao nível macroscópico, sem explicitar a relação entre pressão, temperatura e energia cinética das partículas. Conforme discute Tümay (2016), essa predominância de explicações baseadas no observável reflete dificuldades recorrentes na articulação entre os níveis macroscópico e submicroscópico do conhecimento químico, o que constitui um desafio central para a aprendizagem conceitual em Química.

Por fim, a quinta categoria, “pressão concebida de forma independente da temperatura”, reúne 22% das respostas nas quais a pressão é interpretada como uma força mecânica que “pressiona” ou “amolece” fisicamente os alimentos, ou ainda mencionada de forma isolada, sem relação nenhuma com a temperatura. Essas respostas evidenciam concepções alternativas construídas a partir de metáforas e interpretações do senso comum que, embora se distanciem do modelo científico, são pedagogicamente relevantes por revelarem os significados prévios mobilizados pelos estudantes na tentativa de explicar o fenômeno.

De modo geral, predominam interpretações construídas a partir da observação cotidiana do funcionamento da panela de pressão, ainda pouco articuladas a modelos explicativos de natureza científica. Apesar disso, as respostas evidenciam conhecimentos iniciais relevantes para a compreensão da influência da temperatura e da pressão na velocidade das transformações químicas.

A análise das respostas dos estudantes à questão 4, que investigou a importância da mastigação para a digestão, evidenciou diferentes formas de compreensão sobre o processo digestivo, revelando explicações ancoradas tanto em percepções do cotidiano quanto em noções iniciais de natureza científica. No Quadro 5 é possível observar as cinco categorias identificadas que expressam os sentidos atribuídos pelos alunos à função da mastigação.

Quadro 5 - Categorias emergentes referentes à importância da mastigação no processo digestivo

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Mastigação como ação mecânica facilitadora da	A mastigação é compreendida como um processo mecânico de fragmentação dos alimentos, associado tanto à facilitação da	“Quando trituramos ou mastigamos a comida é mais fácil de engolir...” (A2)	53%

digestão e da deglutição	digestão quanto à passagem segura do alimento pelo sistema digestório.		
2. Mastigação como etapa que acelera a digestão	As respostas associam a mastigação à maior rapidez do processo digestivo, sem explicitar os mecanismos físico-químicos envolvidos.	“Para ser mais fácil e rápido a digestão deles no nosso corpo...” (A19)	25%
3. Ação das enzimas e dos sucos digestivos	A mastigação é relacionada à atuação de enzimas, da saliva ou do ácido gástrico, indicando uma compreensão inicial do processo químico da digestão.	“Ajudando as enzimas e dando menos trabalho” (A14)	25%
4. Metabolismo, nutrição e aproveitamento dos alimentos	As respostas associam a mastigação à melhora do metabolismo e ao melhor aproveitamento dos nutrientes pelo organismo.	“Fica mais fácil separar os alimentos e algumas coisas que vão ajudar a nutrir nosso corpo...” (A5)	16%
5. Exemplificação cotidiana e explicações narrativas	Os estudantes utilizam exemplos do cotidiano ou narrativas para justificar a importância da mastigação, sem recorrer a conceitos científicos formais.	“Inventa de engolir um pepino inteiro, você engasga” (A10)	6%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise das respostas evidencia que os estudantes compreendem a mastigação predominantemente a partir de uma dimensão funcional e observável do processo digestivo. Em mais da metade dos enunciados (53%), a mastigação foi relacionada à um papel principalmente mecânico relacionado à trituração dos alimentos e à facilitação da deglutição. Nessas respostas, a ideia de que “alimentos menores facilitam o trabalho do organismo” aparece de forma recorrente, demonstrando que os estudantes mobilizam experiências corporais e situações cotidianas para atribuir sentido ao processo digestivo. Esse tipo de compreensão é frequente em concepções iniciais de fenômenos químicos e biológicos, especialmente quando os estudantes interpretam os processos a partir apenas de efeitos visíveis ou funcionais (Johnstone, 1991).

Embora ainda não utilizem conceitos científicos mais elaborados, parte dos estudantes (25%) demonstra estabelecer relações intuitivas entre o tamanho dos alimentos e a rapidez da digestão. As respostas agrupadas na segunda categoria sugerem que os alunos reconhecem que alimentos menores são processados mais rapidamente pelo organismo, mesmo sem explicitar conceitos como superfície de contato ou velocidade das transformações químicas. Tal aspecto revela indícios importantes de raciocínio cinético, ainda que em nível intuitivo, pois aproxima os estudantes da compreensão de que determinadas condições podem acelerar processos de transformação. Essas ideias configuram conhecimentos prévios potencialmente relevantes para o ensino de Cinética Química, funcionando como ponto de partida para a construção de novos conhecimentos (Pozo; Crespo, 2009; Treagust; Nieswandt; Duit, 2000).

Algumas respostas (25%) demonstram aproximações mais elaboradas ao mencionarem enzimas, saliva e sucos digestivos como elementos envolvidos na digestão. Ainda que tais termos apareçam, por vezes, de maneira imprecisa, os estudantes demonstram compreender que a mastigação favorece o contato entre os alimentos e os agentes químicos responsáveis pelo processo digestivo. Essa articulação entre ações mecânicas e processos internos evidencia um movimento inicial de transição do nível macroscópico para explicações submicroscópicas, ainda que expresso de forma simplificada e marcado por generalizações típicas das concepções alternativas (Treagust; Nieswandt; Duit, 2000).

Em menor frequência (16%), algumas respostas ampliam a discussão para aspectos relacionados ao metabolismo, à nutrição e ao funcionamento geral do organismo. Nesses casos, a digestão é compreendida como parte de um sistema integrado, no qual mastigar corretamente contribui para a saúde, o fortalecimento do corpo e o bom funcionamento do metabolismo. Embora essas explicações se afastem do foco químico da questão, revelam tentativas de atribuir sentido ao fenômeno a partir de conhecimentos socialmente construídos e experiências pessoais. Além disso, evidenciam dificuldades recorrentes na distinção entre os níveis macroscópico e submicroscópico do conhecimento científico, apontadas como um dos principais obstáculos à aprendizagem em Química (Serrão; Parente, 2023; Tümay, 2016).

Outro aspecto relevante refere-se ao uso de narrativas e exemplos cotidianos como estratégia explicativa (6%). Ao recorrerem a situações concretas, os estudantes demonstram a necessidade de ancorar suas explicações em experiências vividas. Esse predomínio de significados oriundos do senso comum, ainda pouco articulado ao conhecimento científico escolar, não deve ser entendido apenas como limitação conceitual, mas também como um importante ponto de partida para a mediação didática (Tavares et al., 2023).

Em síntese, as respostas revelam que os estudantes interpretam a digestão sobretudo a partir de percepções funcionais e experiências corporais, embora algumas explicações já indiquem aproximações intuitivas com conceitos associados à Cinética Química, especialmente no reconhecimento de que a fragmentação dos alimentos favorece a rapidez das transformações.

Na sequência da investigação dos conhecimentos prévios dos estudantes, a Questão 5, que trata sobre o aceleramento do cozimento de batatas quando cortadas em pedaços menores, aprofunda a discussão iniciada anteriormente ao abordar uma situação cotidiana relacionada ao preparo de alimentos. Ao problematizar essa prática, busca-se identificar como os alunos explicam a relação entre o tamanho das partículas e o tempo de transformação, reconhecendo se mobilizam, ainda que de forma intuitiva, explicações associadas ao tamanho dos pedaços e

à rapidez do processo, elementos que se articulam diretamente com conceitos centrais da Cinética Química.

As respostas revelam explicações majoritariamente fundamentadas em observações do cotidiano culinário, especialmente na percepção de que alimentos menores cozinham mais rapidamente, ainda que os mecanismos envolvidos nem sempre sejam explicitados. A partir da unitarização dos discursos, emergiram quatro categorias analíticas que expressam diferentes formas de atribuição de sentido ao fenômeno investigado (Quadro 6).

Quadro 6 - Categorias emergentes referentes à influência da fragmentação dos alimentos no tempo de cozimento

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Redução do tamanho/massa como fator de aceleração do cozimento	Respostas que atribuem o cozimento mais rápido exclusivamente ao fato de os pedaços serem menores ou terem menos massa, sem explicitar mecanismos térmicos ou físicos envolvidos.	“Porque a batata inteira tem um tanto de massa e demora mais tempo para que seja cozida. Já dividido em partes a batata é cozida mais rapidamente.” (A26)	25%
2. Transferência e distribuição do calor no alimento	Enunciados que associam o cozimento acelerado ao aumento do contato dos pedaços menores com a água ou com a fonte de calor, à penetração, propagação ou distribuição do calor no interior do alimento, ainda que de forma intuitiva e macroscópica.	“Quando cortamos em pedaços menores ajuda a ter mais contato com a água e acelera o cozimento.” (A6)	63%
3. Explicações por analogias e exemplos do cotidiano	Engloba respostas que recorrem a comparações, metáforas ou exemplos cotidianos para explicar o fenômeno, buscando tornar o processo de cozimento mais compreensível.	“A batata pode ser como bloco de gelo... se quebrar em pedaços menores, ele derrete mais rápido.” (A15)	6%
4. Uso de conceitos científicos imprecisos ou alternativos	Respostas que mobilizam termos científicos, como pressão, matéria, concentração, de forma inadequada ou desvinculada do fenômeno real de transferência de calor, caracterizando tentativas iniciais de explicação científica.	“Pressão de ar dentro desses pequenos pedaços... na inteira essa pressão é mais demorada.” (A17)	6%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Parte significativa das respostas (63%) associa o cozimento mais rápido à maior transferência e distribuição do calor nos alimentos cortados em pedaços menores. Os estudantes afirmam que o calor “penetra” ou “se espalha” mais facilmente ou que há maior contato com a água durante o cozimento. Embora intuitivas, essas explicações demonstram reconhecimento de que a fragmentação favorece a interação do alimento com a fonte de calor. Observa-se, portanto, que os estudantes mobilizam percepções coerentes com o fenômeno investigado, mesmo sem recorrer formalmente à linguagem científica escolar.

Em outros enunciados (25%), o cozimento acelerado é explicado pela redução do tamanho, da quantidade ou da massa do alimento, sem estabelecimento de relações causais mais elaboradas. Nessas respostas, a ideia de que “pedaços menores cozinham mais rápido” aparece como uma construção autoexplicativa, evidenciando interpretações predominantemente intuitivas e tautológicas. Conforme discutem Pozo e Crespo (2009), esse tipo de explicação é recorrente em concepções iniciais de estudantes, nas quais o fenômeno é compreendido a partir de regularidades observáveis, ainda sem articulação com modelos explicativos mais abstratos.

Embora menos frequentes (6%), algumas respostas recorrem a analogias e comparações com situações cotidianas para justificar o fenômeno observado. Ao estabelecer relações com exemplos como o derretimento do gelo ou outras situações envolvendo fragmentação de materiais, os estudantes procuram compreender o fenômeno com base em experiências familiares. O uso de analogias evidencia tentativas compreender por meio de referências familiares, desempenhando papel relevante na construção inicial de significados. Entretanto, tais aproximações exigem acompanhamento pedagógico, uma vez que podem conduzir a generalizações inadequadas quando não problematizadas (Pozo; Crespo, 2009).

Também emergiram respostas (6%) que incorporam termos científicos de forma parcial ou imprecisa, mobilizando conceitos como “pressão”, “matéria” ou “concentração” em explicações nem sempre coerentes com a situação analisada. Essas falas indicam um movimento inicial de aproximação com a linguagem científica escolar, ainda marcado por generalizações e dificuldades na articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e representacional do conhecimento químico, aspecto frequentemente apontado como um dos principais obstáculos à aprendizagem em Química (Treagust; Nieswandt; Duit, 2000; Tümay, 2016).

De modo geral, as respostas concentram-se em interpretações macroscópicas e funcionais do fenômeno, fortemente vinculadas às experiências cotidianas dos estudantes. Ainda assim, algumas explicações já indicam aproximações intuitivas com conceitos centrais da Cinética Química, particularmente no reconhecimento de que determinadas condições podem acelerar processos de transformação. Nesse contexto, a fragmentação dos alimentos configura-se como um importante contexto mediador para a compreensão do conceito de superfície de contato.

Na sequência da investigação dos conhecimentos prévios dos estudantes, a Questão 6 introduz uma situação cotidiana que envolve explicitamente uma transformação química, ao abordar a dissolução de comprimidos efervescentes em água. Ao propor a comparação entre um comprimido inteiro e outro triturado, a questão busca identificar como os estudantes explicam

a diferença na rapidez do processo em função do tamanho das partículas. A análise das respostas dos estudantes evidenciou diferentes formas de atribuição de sentido ao fenômeno, predominantemente ancoradas em observações empíricas e experiências cotidianas, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 - Categorias emergentes referentes à dissolução de comprimidos efervescentes em função da fragmentação

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Trituração como constatação direta do fenômeno (explicação tautológica)	Explicações que afirmam que o comprimido triturado dissolve mais rápido simplesmente por estar triturado ou em pedaços menores, sem explicitação de mecanismos envolvidos.	“O comprimido efervescente triturado, porque ele está em pedaços menores e assim ele se dissolve mais rápido.” (A25)	44%
2. Facilitação do processo de dissolução pela fragmentação do comprimido	Explicações que atribuem a dissolução mais rápida à diminuição da massa, da quantidade ou da “matéria” do comprimido ou pela maior facilidade de ação da água sobre o material, revelando uma causalidade intuitiva e pouco elaborada.	“O triturado tem menos massa do que o inteiro por isso que o triturado se dissolve mais rápido.” (A4)	34%
3. Superfície de contato com a água	Explicações que reconhecem que o comprimido triturado apresenta maior área de contato com a água, associando esse fator à maior rapidez da dissolução.	“Porque tem mais superfície em contato com a água.” (A3)	6%
4. Explicações por analogias e experiências cotidianas	Explicações que recorrem a comparações com situações do cotidiano ou a exemplos previamente discutidos (como a batata cortada), utilizando analogias para dar sentido ao fenômeno.	“A mesma coisa que a batata, é mais rápido porque tá em pedaço.” (A24)	9%
5. Uso de conceitos científicos imprecisos ou alternativos	Explicações que mobilizam termos da linguagem científica escolar, como reação química, concentração ou mudança de estado físico, porém empregados de forma imprecisa ou conceitualmente inadequada.	“O comprimido triturado, por estar triturado, sua concentração e reação é mais rápida.” (A17)	9%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Na categoria mais expressiva entre as respostas (44%), surgem ideias tautológicas, nas quais os estudantes afirmam que o comprimido triturado dissolve mais rápido simplesmente por estar em pedaços menores. Nesses enunciados, não há tentativa de explicação dos mecanismos envolvidos no processo de dissolução, sendo o fenômeno aceito como autoexplicativo. Conforme discutem Pozo e Crespo (2009), o pensamento intuitivo do aluno é marcado por um realismo que o impede de separar o fenômeno da sua explicação teórica. Nesse estágio, as justificativas costumam ser tautológicas, pois o aprendiz aceita o efeito observado como a própria causa do evento, evidenciando uma causalidade linear e acrítica. Ainda assim,

tais interpretações constituem importantes pontos de partida para a construção de compreensões mais elaboradas.

Na segunda categoria, representada por 34% das respostas, observam-se tentativas de explicação causal mais desenvolvidas, ainda restritas ao plano fenomenológico. Os estudantes associam a dissolução mais rápida à maior interação entre a água e as partículas do comprimido triturado, mencionando maior facilidade de mistura, melhor alcance da água ou dissolução mais uniforme do material. Mesmo sem recorrer a conceitos científicos formais, os enunciados revelam a percepção de que a forma física interfere na dinâmica do processo.

A terceira categoria, “superfície de contato com a água”, identificada em 6% das respostas, aproxima-se mais direta de um conceito central da Cinética Química. Nesses casos, os estudantes reconhecem explicitamente que o comprimido triturado dissolve mais rapidamente devido ao aumento da superfície em contato com a água. Embora ainda formuladas de maneira intuitiva, essas respostas indicam um avanço conceitual em relação às categorias anteriores, pois já estabelecem uma relação entre o tamanho do comprimido e a intensificação do contato e das interações com o meio.

Em parte das respostas (9%), os estudantes recorrem a analogias e exemplos cotidianos para justificar o fenômeno, mencionando experiências pessoais com medicamentos ou comparações com situações discutidas anteriormente, como o cozimento das batatas. As analogias funcionam como estratégias cognitivas importantes que auxiliam os estudantes a compreenderem fenômenos abstratos a partir de referências familiares. Pozo e Crespo (2009) ressaltam que analogias e modelos constituem importantes recursos para a mediação do conhecimento científico, especialmente na compreensão de fenômenos abstratos; contudo, seu uso requer problematização pedagógica, uma vez que interpretações literais podem reforçar concepções alternativas.

Também foram identificadas respostas (9%) que mobilizam termos científicos de maneira imprecisa, utilizando expressões como “concentração”, “elementos químicos” ou “reação mais rápida” sem articulação consistente com o fenômeno investigado. Tais evidências revelam tentativas de aproximação com a linguagem científica escolar, ainda marcadas por imprecisões conceituais e dificuldades na articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e representacional do conhecimento químico (Johnstone, 1991; Treagust; Nieswandt; Duit, 2000; Tümay, 2016).

De modo geral, as respostas concentram-se predominantemente em interpretações fenomenológicas e observacionais do processo de dissolução. Esse panorama evidencia um processo de construção de sentidos marcado pela coexistência de explicações tautológicas,

funcionais, analógicas e parcialmente conceituais. Nesse movimento, destaca-se a emergência da ideia de superfície de contato como elemento explicativo, ainda que mobilizada de forma incipiente por uma parcela dos estudantes. Tal noção antecipa, ainda que de forma inicial, a compreensão de fatores que influenciam a velocidade das reações químicas. Esses resultados reforçam a importância de estratégias investigativas que promovam o confronto entre explicações intuitivas e modelos científicos, favorecendo processos de reconstrução conceitual ao longo das etapas da metodologia POE.

A Questão 7 desloca o foco das situações envolvendo alimentos e substâncias para um contexto biológico diretamente relacionado ao cotidiano dos alunos: o processo de digestão. Ao abordar o papel das enzimas como catalisadores biológicos, o enunciado amplia a discussão sobre fatores que influenciam a velocidade das transformações químicas e possibilita analisar como os alunos compreendem a aceleração de reações em sistemas naturais.

A análise das respostas evidenciou diferentes níveis de compreensão acerca da atuação das enzimas na digestão, variando desde interpretações intuitivas e funcionais até aproximações mais próximas do conceito científico de catalisação. No Quadro 8 constam as seis categorias emergentes que expressam os sentidos atribuídos pelos alunos a esse fenômeno.

Quadro 8 - Categorias emergentes referentes à influência das enzimas na velocidade da digestão

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Enzimas como aceleradoras da digestão (ideia de rapidez sem explicitação do mecanismo envolvido)	Respostas que associam as enzimas ao aumento da velocidade da digestão, reconhecendo, ainda que de forma simplificada, seu papel em acelerar reações químicas.	“As enzimas tornam a digestão mais rápida porque aceleram as reações químicas no estômago.” (A18)	22%
2. Enzimas como agentes de quebra ou ‘trituração’ dos alimentos (analogia mecânica)	Inclui respostas que atribuem às enzimas a função de “quebrar”, “triturar” ou “dividir” os alimentos em partes menores, associando essa ação à maior rapidez da digestão.	“Elas quebram os alimentos em pedaços menores para ajudar o corpo a absorver mais rápido.” (A15)	22%
3. Enzimas associadas à transformação em nutrientes e absorção	Respostas que relacionam a ação das enzimas à transformação dos alimentos em nutrientes e à facilitação da absorção pelo organismo.	“Elas ajudam a transformar os alimentos em nutrientes com mais rapidez, facilitando a absorção.” (A6)	16%
4. Associação entre enzimas e ação do ácido gástrico (concepção alternativa)	Enunciados que confundem ou associam a ação das enzimas ao ácido do estômago, atribuindo a este a principal responsabilidade pela velocidade da digestão.	“É o ácido do estômago que faz o processo ser mais rápido.” (A23)	25%

5. Enzimas como catalisadores (aproximação conceitual científica)	Inclui respostas que reconhecem explicitamente ou implicitamente o papel das enzimas como catalisadoras de reações químicas, ainda que de forma breve ou incompleta.	“As enzimas são proteínas que catalisam diversas reações em nosso organismo.” (A31)	9%
6. Explicações biológicas gerais, narrativas ou pouco articuladas ao fenômeno	Respostas vagas ou narrativas que mencionam recuperação do corpo, funcionamento geral do organismo ou ideias pouco relacionadas diretamente à velocidade da digestão.	“Aumentando a digestão para o corpo se recuperar mais rápido.” (A22)	22%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A primeira categoria, “Enzimas como aceleradoras da digestão”, reúne 22% das respostas nas quais os estudantes reconhecem que as enzimas tornam a digestão mais rápida, porém sem explicitar os mecanismos envolvidos nesse processo. Nessas explicações, as enzimas são associadas genericamente à aceleração da digestão, evidenciando uma compreensão funcional centrada nos efeitos observados.

A segunda categoria, também correspondente a 22% das respostas, atribui às enzimas funções semelhantes às da mastigação, entendendo-as como agentes responsáveis por “quebrar”, “triturar” ou “dividir” os alimentos. Essas interpretações revelam a transposição de processos físicos observáveis para a explicação de transformações químicas internas, evidenciando compreensões ainda centradas nos aspectos perceptíveis da digestão.

As categorias 1 e 2 evidenciam dificuldades recorrentes na articulação entre os níveis macroscópico e submicroscópico do conhecimento químico. Em situações que envolvem processos não observáveis diretamente, os estudantes tendem a recorrer a efeitos perceptíveis ou analogias concretas para explicar fenômenos cuja compreensão exige referenciais moleculares (Johnstone, 1991; Treagust; Nieswandt; Duit, 2000).

Na terceira categoria, identificada em 16% das respostas, a função das enzimas é ampliada para além da quebra dos alimentos, relacionando sua atuação à transformação dos alimentos em nutrientes e à absorção pelo organismo. Embora essas explicações ainda apresentem limitações conceituais, elas demonstram uma compreensão mais integrada do processo digestivo, articulando digestão, nutrição e funcionamento do corpo humano.

A quarta categoria, presente em 25% das respostas, reúne interpretações que confundem ou sobrepõem o papel das enzimas ao do ácido gástrico. Nesses enunciados, as enzimas são descritas como “ácidas” ou com funções semelhantes às do ácido do estômago. Tais respostas evidenciam dificuldades em diferenciar agentes químicos distintos e suas funções no processo digestivo. Esse tipo de concepção demonstra a tendência de interpretar fenômenos complexos a partir de modelos simplificados e conhecimentos do senso comum,

frequentemente baseados em características perceptíveis, o que pode limitar a compreensão dos mecanismos envolvidos (Pozo; Crespo, 2009).

A quinta categoria, “Enzimas como catalisadores”, aparece em apenas 9% de respostas, mas apresenta maior proximidade com o conhecimento científico. Nesses casos, os estudantes reconhecem explicitamente, reconhecendo que as enzimas aceleram reações químicas no organismo, estabelecendo aproximações iniciais com conceitos relacionados à ação catalítica e à velocidade das reações.

Por fim, a sexta categoria, correspondente a 22% das respostas, reúne explicações vagas ou pouco articuladas sobre o funcionamento do organismo, sem relação clara entre enzimas e velocidade da digestão. Nesses casos, observa-se a mobilização de conhecimentos prévios ainda pouco diferenciados e insuficientemente articulados ao conceito científico em estudo. Essas respostas indicam tentativas iniciais de atribuição de sentido ao fenômeno a partir do repertório cognitivo disponível aos estudantes, ainda sem explicitação de mecanismos químicos ou relações causais mais precisas.

Em conjunto, as categorias evidenciam a predominância de interpretações funcionais, intuitivas e biologicamente orientadas, com pouca mobilização de aspectos submicroscópicos relacionados às transformações químicas. Esse panorama reforça a necessidade de intervenções didáticas que favoreçam a articulação entre os diferentes níveis de representação química, contribuindo para uma compreensão mais integrada da ação dos catalisadores nos processos químicos.

A Questão 8 introduz o contexto da combustão a partir de uma prática amplamente presente no cotidiano dos estudantes: o preparo de um churrasco. Ao problematizar a ventilação do carvão para intensificar o fogo, o enunciado traz para a discussão a relação entre disponibilidade de oxigênio e velocidade da combustão, permitindo investigar como os alunos compreendem a influência da quantidade de reagentes nas transformações químicas.

As respostas revelaram diferentes interpretações acerca do papel do oxigênio na combustão, das quais emergiram quatro categorias analíticas apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Categorias emergentes referentes à influência do aumento da concentração de oxigênio na propagação do fogo

Categoria	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Oxigênio como condição essencial para a manutenção da combustão	Respostas que reconhecem o oxigênio como elemento indispensável para que o fogo exista ou continue queimando, sem necessariamente explicitar seu papel químico no processo.	“O fogo precisa de ar para queimar. Sem ar, o fogo se apaga.” (A15)	28%
2. Associação intuitiva de proporcionalidade entre disponibilidade de oxigênio e intensificação da combustão	Explicações que relacionam mais oxigênio a fogo mais forte ou mais rápido, de forma descritiva e intuitiva, geralmente reproduzindo a lógica apresentada na própria situação-problema.	“Quanto mais oxigênio é jogado no carvão, mais o fogo aumenta.” (A20)	56%
3. Oxigênio como reagente da combustão (aproximação conceitual científica)	Resposta que reconhece explicitamente o oxigênio como reagente químico envolvido na reação de combustão, demonstrando aproximação com o conceito científico.	“A combustão é uma reação química entre o carbono do carvão e o oxigênio do ar.” (A3)	3%
4. Explicações cotidianas e narrativas vagas, com concepções não estruturadas ou conceitualmente instáveis	Enunciados baseados em narrativas do senso comum, analogias imprecisas ou explicações confusas, nas quais o papel do oxigênio não é claramente definido ou se mistura a outros fatores.	“O vento irrita a brasa e isso queima por conta da água que tem no ar.” (A10)	38%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

As respostas agrupadas na primeira categoria (28%) reconhecem o oxigênio como condição essencial para a manutenção da combustão. Os estudantes afirmam que “o fogo precisa de ar” ou que “sem ar o fogo se apaga”, demonstrando uma compreensão funcional do fenômeno construída a partir de observações cotidianas. Embora o papel químico do oxigênio não seja explicitado, as falas indicam o reconhecimento de uma relação de dependência entre combustão e presença de ar.

A segunda categoria, predominante entre as respostas (56%), associa diretamente o aumento da quantidade de oxigênio à intensificação do fogo, tornando-o mais forte, mais quente ou mais rápido. Ainda que os estudantes reconheçam uma relação causal entre disponibilidade de oxigênio e propagação da combustão, as justificativas permanecem descritivas e centradas nos efeitos observáveis do fenômeno. Em muitos casos, os enunciados apenas reproduzem a lógica presente no próprio problema, sem mobilizar explicações relacionadas à participação do oxigênio como reagente químico ou às interações entre partículas durante a reação. Segundo Pozo e Crespo (2009), esse tipo de interpretação é recorrente em estágios iniciais de compreensão científica, nos quais predominam relações intuitivas e causalidades aparentes.

A predominância dessa categoria evidencia, ainda, o potencial da etapa “Predizer” no método POE, uma vez que as hipóteses formuladas pelos estudantes tornam visíveis seus conhecimentos prévios e suas formas iniciais de interpretar os fenômenos. Mesmo quando cientificamente limitadas, essas produções oferecem elementos relevantes para o trabalho didático e para a problematização posterior dos conceitos científicos.

Embora numericamente menos representativa (3%), a terceira categoria apresenta respostas qualitativamente mais próximas do conhecimento científico. Nesses enunciados, o oxigênio é reconhecido explicitamente como reagente químico envolvido na combustão, sendo mencionada sua interação com o carbono do carvão. Observa-se, assim, uma tentativa de interpretar o fenômeno para além do nível puramente observável, aproximando-se de explicações submicroscópicas relacionadas às reações químicas (Johnstone, 1991).

Já a quarta categoria (38%) reúne respostas marcadas por explicações vagas, imprecisas ou conceitualmente instáveis, nas quais a intensificação do fogo é atribuída não apenas ao oxigênio, mas também ao vento, à pressão ou à água presente no ar. Essas interpretações evidenciam dificuldades na organização conceitual e demonstram tentativas de atribuição de sentido fundamentadas em experiências cotidianas, ainda sem articulação consistente com modelos científicos explicativos.

De modo geral, as categorias construídas evidenciam que as interpretações dos estudantes sobre a combustão permanecem majoritariamente ancoradas em observações empíricas e explicações fenomenológicas. As referências aos mecanismos químicos envolvidos aparecem de forma pontual e pouco elaborada, indicando diferentes níveis de aproximação com o conhecimento científico.

Os resultados reforçam o potencial didático da situação-problema apresentada na Questão 8 para o ensino de Cinética Química, especialmente por possibilitar a problematização da relação entre quantidade de reagentes, velocidade das reações químicas e condições necessárias para a combustão. Ao mobilizar situações familiares aos estudantes, a questão favorece a transição gradual de interpretações empíricas para explicações científicas mais elaboradas.

De modo mais amplo, a análise do questionário prévio evidencia que os estudantes interpretam os fenômenos relacionados à Cinética Química predominantemente a partir de experiências cotidianas, observações empíricas e explicações funcionais construídas em com situações do dia a dia. Ao longo das questões analisadas, observou-se a coexistência de interpretações intuitivas, analogias, concepções alternativas e aproximações parciais com conceitos científicos, revelando diferentes níveis de elaboração conceitual.

Mesmo quando os estudantes ainda não mobilizam explicações químicas formalizadas, suas respostas demonstram o reconhecimento de relações importantes entre fatores como temperatura, fragmentação, presença de reagentes e rapidez das transformações. Esses indícios revelam um repertório inicial de significados que pode ser explorado pedagogicamente em situações investigativas voltadas à problematização e reconstrução conceitual.

Nesse contexto, o questionário prévio cumpriu papel fundamental ao tornar visíveis os sentidos atribuídos pelos estudantes aos fenômenos investigados, fornecendo elementos relevantes para o planejamento da sequência didática baseada na metodologia POE. Os resultados evidenciam a importância de práticas pedagógicas que promovam a articulação entre experiências cotidianas e modelos científicos, favorecendo a reconstrução progressiva dos significados atribuídos pelos estudantes aos fenômenos químicos relacionados na velocidade das reações.

5.2 ANÁLISE DA ETAPA DE OBSERVAÇÃO E INTERAÇÃO COM AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Após a análise do questionário prévio, que possibilitou identificar os conhecimentos dos estudantes acerca dos conceitos relacionados à Cinética Química, apresenta-se, nesta seção, a análise da etapa de observação e interação com as simulações computacionais, correspondente ao segundo momento da sequência didática fundamentada no método POE.

Nessa etapa, os estudantes tiveram contato direto com o simulador PhET “Reações e Taxas”, explorando diferentes abas, manipulando variáveis e observando, em tempo real, o comportamento das partículas durante as transformações químicas. Inicialmente, ao identificar que parte da turma não possuía familiaridade com ambientes virtuais de simulação, tornou-se necessária uma mediação inicial da professora/pesquisadora, por meio de orientações coletivas sobre o funcionamento do simulador, as finalidades de cada aba e as possibilidades de manipulação dos experimentos virtuais.

Após esse momento de familiarização, os estudantes passaram a explorar os recursos com maior autonomia, demonstrando interesse diante das animações, especialmente ao visualizarem o aumento da movimentação das partículas, a formação dos produtos e as diferenças nos tempos de reação. Ao longo das atividades, também emergiram dificuldades relacionadas à interpretação de elementos microscópicos da simulação e à diferenciação entre

os fatores cinéticos investigados, evidenciando o caráter gradual da construção conceitual durante a interação com o recurso digital.

A análise dos dados produzidos nesse momento buscou compreender os sentidos atribuídos pelos estudantes às observações realizadas durante a exploração das simulações computacionais. A partir das respostas escritas e dos registros produzidos pelos grupos, procedeu-se à unitarização dos dados e à construção de categorias emergentes. O Quadro 10 apresenta as categorias identificadas, acompanhadas de breve descrição, unidades de sentidos representativas e percentual de respostas incluídas.

Quadro 10 - Categorias emergentes referentes às colisões entre partículas

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Reconhecimento da colisão como condição para a reação química.	Compreensão inicial de que a reação química ocorre a partir do choque entre partículas, sendo necessárias determinadas condições para que haja formação de produtos.	“Quando elas se batem com força suficiente e na direção certa acontece a reação” (Grupo 1).	25%
2. Reconhecimento da ocorrência de colisões inefetivas.	Percepção de que nem todas as colisões entre partículas resultam em reação química, ocorrendo choques sem transformação.	“Elas se batem e ficam quicando pros lados” (Grupo 3).	13%
3. Associação entre agitação das partículas e formação de produtos.	Relação intuitiva estabelecida entre agitação das partículas (temperatura) e possibilidade de formação de produtos.	“Criam outras combinações pois estão quentes e agitadas” (Grupo 7).	25%
4. Produção de explicações com imprecisões conceituais.	Explicações que revelam compreensão parcial do fenômeno, com uso inadequado de termos científicos.	“Criaram novo elemento AB e C” (Grupo 5).	63%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise das observações realizadas pelos estudantes na etapa “Observar” revela que a exploração do simulador PhET possibilitou uma aproximação inicial com conceitos fundamentais da Cinética Química, especialmente aqueles relacionados à Teoria das Colisões. As respostas indicam que os alunos conseguiram identificar que a reação química ocorre a partir do choque entre partículas, reconhecendo, em alguns casos, que nem todas as colisões resultam em transformação química e que determinadas condições são necessárias para a ocorrência da reação.

Observa-se, ainda, que parte dos estudantes percebeu a influência da agitação das partículas, associando-a à formação de novas combinações, o que sugere uma compreensão intuitiva da relação entre movimentação das partículas e velocidade das reações. Entretanto, essas percepções ainda se apresentam predominantemente em um nível descritivo e visual, marcadas pelo uso de linguagem cotidiana e por imprecisões conceituais, como a utilização do

termo “novo elemento”, mencionado pelos grupos 5 e 8, para se referirem aos produtos formados.

Além disso, os recursos visuais do simulador favoreceram o engajamento dos estudantes durante a atividade. A movimentação contínua das partículas e a possibilidade de acompanhar visualmente as colisões estimularam discussões entre os integrantes dos grupos, que frequentemente comparavam observações, levantavam hipóteses e retomavam os experimentos para confirmar suas interpretações.

De modo geral, a etapa “Observar” favoreceu o confronto entre as ideias prévias dos estudantes e os comportamentos observados na simulação, criando condições para a problematização inicial dos conceitos relacionados às colisões entre partículas e à ocorrência das reações químicas.

Na continuidade da etapa “Observar”, apresenta-se a atividade “Testando a Concentração”, desenvolvida na aba “Experimentos de taxas” do simulador PhET “Reações e Taxas”. Nessa atividade, a temperatura foi mantida constante, enquanto as concentrações iniciais dos reagentes foram sistematicamente variadas, com o objetivo de investigar a influência desse fator na frequência das colisões entre partículas e na rapidez da formação dos produtos. As respostas e registros produzidos pelos estudantes possibilitaram a identificação das categorias emergentes apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Categorias emergentes referentes à influência da concentração nas colisões entre partículas

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Relação entre concentração e frequência de colisões.	Compreensão de que o aumento da concentração dos reagentes favorece o aumento da frequência de colisões entre as partículas.	“Quanto maior a quantidade, maior a colisão deles.” (G2)	50%
2. Influência da concentração na rapidez da reação.	Associação direta entre maior concentração e maior velocidade de formação dos produtos da reação.	“Quanto mais partículas mais rápido é o tempo de formação.” (G7)	75%
3. Estabelecimento de comparações entre os experimentos realizados.	Análise comparativa dos diferentes experimentos, relacionando as concentrações iniciais aos tempos de formação dos produtos.	“O terceiro é o mais rápido, dentre os demais.” (G6)	13%
4. Produção de explicações com imprecisões conceituais.	Explicações que apresentam confusões conceituais, especialmente entre concentração e temperatura, ou generalizações imprecisas sobre colisões e reatividade.	“Algumas partículas reagem mais facilmente que outras.” (G4)	25%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise das respostas dos estudantes na atividade “Testando a Concentração” evidencia que a maioria dos grupos estabeleceu relação direta entre o aumento da concentração dos reagentes e a maior frequência de colisões entre as partículas, reconhecendo que esse fator contribui para a maior rapidez na formação dos produtos. Tal compreensão emergiu, principalmente da comparação entre diferentes experimentos realizados no simulador, nos quais os alunos observaram que sistemas com maiores quantidades iniciais de reagentes apresentavam menor tempo para o início da formação do produto.

As respostas indicam, ainda, uma apropriação inicial de aspectos da Teoria das Colisões, especialmente no que se refere à influência da concentração na velocidade das reações químicas. Embora as explicações permaneçam predominantemente ancoradas em aspectos observáveis, como o tempo de reação e a quantidade de partículas presentes no sistema, nota-se um avanço em relação à atividade anterior, uma vez que os estudantes começam a estabelecer relações de causa e efeito entre a variável manipulada e o comportamento do sistema reacional.

Durante as discussões em grupo, observou-se que a possibilidade de modificar as quantidades de reagentes e acompanhar visualmente o aumento das colisões favoreceu comparações entre os experimentos e estimulou a formulação de hipóteses pelos estudantes. Em vários momentos, os grupos repetiram os testes para confirmar percepções relacionadas ao tempo de reação e à formação dos produtos, demonstrando envolvimento investigativo com a atividade.

Entretanto, algumas respostas apresentaram imprecisões conceituais, evidenciadas principalmente pela associação indevida entre os efeitos da concentração e da temperatura, mesmo quando esta variável foi mantida constante durante os experimentos. Esses equívocos sugerem dificuldades na diferenciação entre os fatores que influenciam a velocidade das reações químicas, indicando que os estudantes ainda mobilizam explicações generalizadas e pouco delimitadas conceitualmente.

De modo geral, a atividade favoreceu a identificação de padrões e regularidades a partir da manipulação das variáveis no simulador, contribuindo para que os estudantes construíssem explicações iniciais sobre a influência da concentração nas reações químicas.

Na continuidade da etapa “Observar”, apresenta-se a análise da atividade “Testando a Temperatura”, desenvolvida no simulador PhET “Reações e Taxas”. Nessa atividade, as concentrações dos reagentes foram mantidas constantes, enquanto a variável temperatura foi sistematicamente alterada em três condições distintas: baixa, intermediária e alta. O objetivo consistiu em investigar como a variação da temperatura influencia o movimento das partículas, a frequência das colisões e a rapidez na formação dos produtos da reação.

As observações e conclusões registradas pelos estudantes possibilitaram a identificação de categorias emergentes (Quadro 12), que evidenciam diferentes níveis de compreensão acerca da influência da temperatura na velocidade das reações químicas.

Quadro 12 - Categorias emergentes referentes à influência da temperatura na velocidade das reações químicas

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Temperatura como fator de intensificação do movimento e das colisões entre partículas.	Reconhecimento de que o aumento da temperatura altera a velocidade de movimentação das partículas no sistema, e/ou o aumento das colisões, ainda que nem sempre utilizando o termo “colisão” explicitamente.	“Quanto maior a temperatura, maior é a agitação das partículas, o que aumenta a frequência das colisões.” (G1)	88%
2. Temperatura como fator determinante da velocidade da reação química.	Compreensão de que variações de temperatura influenciam diretamente a rapidez com que a reação ocorre e os produtos são formados.	“Altas temperaturas aceleram o tempo necessário pra reações.” (G4)	75%
3. Percepção gradual do efeito da temperatura nas reações.	Identificação de diferenças no comportamento das partículas e na rapidez da reação em temperaturas baixa, média e alta.	“A temperatura média não é mais baixa e nem alta, é média reação e movimento.” (G6)	63%
4. Uso de linguagem cotidiana ou metafórica na explicação dos fenômenos.	Emprego de expressões não científicas para descrever o comportamento das partículas, revelando compreensão intuitiva do fenômeno.	“A temperatura alta faz com que as partículas fique completamente descontrolada.” (G7)	25%
5. Imprecisões conceituais na relação entre temperatura e fenômenos cinéticos.	Presença de confusões conceituais envolvendo temperatura, velocidade, colisões ou características das partículas.	“Quanto menor partícula, menor velocidade de colisão.” (G8)	13%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A categoria “Temperatura como fator de intensificação do movimento e das colisões entre partículas” foi a mais recorrente entre os grupos analisados (87,5%), indicando que a maioria dos estudantes reconheceu que o aumento da temperatura provoca maior agitação das partículas, favorecendo o aumento das interações no sistema reacional. Expressões como “se movem mais rápido”, “maior agitação” e “mais colisões” demonstram que os estudantes estabeleceram relação direta entre temperatura e movimento molecular, aspecto central da Teoria das Colisões.

A visualização da movimentação das partículas nas diferentes temperaturas chamou significativamente a atenção dos estudantes. Muitos grupos passaram a comparar espontaneamente as velocidades das partículas nas três condições testadas, retomando várias vezes a simulação para observar diferenças nos choques e no tempo de formação dos produtos. Esse movimento de comparação favoreceu maior envolvimento com a atividade e ampliou as discussões entre os integrantes dos grupos.

Outra categoria significativa refere-se à “Temperatura como fator determinante da velocidade da reação química”, na qual os estudantes associaram o aumento da temperatura à maior rapidez na formação dos produtos. As falas indicam que 75% dos grupos perceberam empiricamente que reações em temperaturas mais elevadas ocorrem em menor intervalo de tempo, ainda que nem sempre utilizassem terminologia científica formal ou apresentassem explicações mais aprofundadas sobre esse efeito. As explicações permaneceram predominantemente centradas em aspectos observáveis, como o tempo de reação e a quantidade de produtos formados.

Destaca-se também a categoria “Percepção gradual do efeito da temperatura nas reações”, na qual 62,5% dos grupos diferenciaram explicitamente os comportamentos observados em temperaturas baixa, média e alta. Esse aspecto evidencia que os estudantes reconheceram um efeito progressivo da temperatura sobre o movimento das partículas e sobre a dinâmica da reação, indicando avanço na compreensão das variáveis cinéticas investigadas.

Por outro lado, emergiram categorias relacionadas ao uso de linguagem cotidiana ou metafórica (25%) e às imprecisões conceituais (12,5%). Termos como “descontroladas”, “se reproduzem” ou confusões entre tamanho de partícula, velocidade e temperatura revelam dificuldades na utilização da linguagem científica e na diferenciação entre os conceitos envolvidos. Essas respostas indicam que, embora os estudantes tenham compreendido tendências gerais do fenômeno, ainda apresentam limitações na explicação conceitual dos processos observados.

De modo geral, a atividade permitiu que os estudantes construíssem explicações iniciais sobre a influência da temperatura na velocidade das reações químicas, ao mesmo tempo em que evidenciou dificuldades conceituais importantes para a continuidade da mediação pedagógica nas etapas seguintes da sequência didática.

Na sequência da etapa “Observar”, analisam-se as compreensões construídas pelos estudantes a partir da atividade “Energia de Ativação e Catalisador”. Diferentemente das atividades anteriores, nesta proposta os alunos foram convidados a interpretar representações gráficas do perfil energético da reação, comparando situações com e sem a presença de catalisador por meio da manipulação da energia de ativação no gráfico de coordenada de reação.

Mantendo constantes as quantidades iniciais de reagentes, os estudantes observaram a taxa de formação de produtos ao longo de um intervalo de tempo fixo, estabelecendo comparações entre os dois cenários experimentais. Essa atividade teve como objetivo favorecer a compreensão do papel do catalisador na redução da energia de ativação e sua influência na velocidade da reação química.

As respostas e registros produzidos permitiram identificar categorias emergentes relacionadas à interpretação das representações gráficas e ao efeito do catalisador no sistema reacional, apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 - Categorias emergentes referentes ao papel do catalisador na energia de ativação e na velocidade das reações químicas

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Reconhecimento do catalisador como fator que favorece a reação química.	Reúne respostas que identificam empiricamente que a reação com catalisador ocorre de forma mais favorável, com maior formação de produtos ou maior facilidade de ocorrência, sem explicitação do mecanismo envolvido.	“A reação com catalisador favoreceu a ocorrência da reação química.” (G3)	50%
2. Associação entre catalisador e aumento da velocidade da reação.	Inclui explicações que relacionam o uso do catalisador ao aumento da velocidade da reação, destacando rapidez, menor tempo ou maior taxa de formação de produtos, ainda que de forma intuitiva.	“Com o catalisador porque acontece de forma mais rápida.” (G6)	88%
3. Compreensão do catalisador como redutor da energia de ativação.	Abrange explicações que explicitam que o catalisador atua diminuindo a energia de ativação ou a “barreira de energia”, aproximando-se do modelo teórico representado no gráfico de energia.	“O catalisador diminui a ‘barreira de energia’ que a reação precisa vencer.” (G1)	25%
4. Explicações com imprecisões conceituais ou linguagem cotidiana.	Contempla respostas que utilizam termos do senso comum, metáforas inadequadas ou explicações incompletas sobre o papel do catalisador.	“Consegue se reproduzirem mais.” (G2)	50%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise das respostas dos estudantes evidencia, inicialmente, a categoria “Reconhecimento do catalisador como fator que favorece a reação química”, na qual os alunos identificaram, de forma empírica, que a reação realizada na presença de catalisador ocorria com maior facilidade ou apresentava maior formação de produtos. As falas associadas a essa categoria demonstram que os estudantes conseguiram comparar as condições experimentais apresentadas no simulador e perceber diferenças entre os cenários observados, ainda que sem explicitar os mecanismos envolvidos nesse processo.

Em um nível de elaboração mais avançado, emerge a categoria “Associação entre catalisador e aumento da velocidade da reação”, na qual os estudantes passaram a relacionar o uso do catalisador à maior rapidez do processo reacional. Expressões como “mais rápido”, “menos tempo” e “produziu mais produtos em menos tempo” evidenciam tentativas iniciais de explicação causal para o comportamento observado. Embora essas respostas ainda não explorem sistematicamente o papel da energia de ativação, revelam uma compreensão funcional do catalisador como fator que interfere na velocidade da reação química.

As categorias anteriores foram mantidas separadamente por evidenciarem diferentes níveis de compreensão. Enquanto a primeira se limita ao reconhecimento empírico da condição experimental mais favorável, a segunda apresenta tentativas iniciais de explicação causal para o efeito observado.

Na categoria “Compreensão do catalisador como redutor da energia de ativação”, apenas dois grupos apresentaram explicações conceitualmente mais elaborada, ao explicitar que o catalisador atua reduzindo a energia de ativação da reação. Essas respostas demonstram maior aproximação com o modelo teórico representado no gráfico de energia, indicando articulação inicial entre a representação visual e conceitos mais abstratos da Cinética Química.

Por outro lado, também emergiram explicações marcadas pelo uso de linguagem cotidiana e por imprecisões conceituais, como a ideia de que os produtos “se reproduzem” ou de que o catalisador apenas facilita “junções” entre partículas. Essas respostas revelam que, embora os estudantes percebam os efeitos do catalisador, ainda apresentam dificuldades para explicá-los cientificamente.

Observou-se, ainda, que a representação das representações gráficas exigiu maior mediação docente em comparação às atividades anteriores. Parte dos estudantes demonstrou mais familiaridade com as animações das partículas do que com gráficos energéticos e representações mais abstratas, recorrendo frequentemente ao auxílio da professora/pesquisadora para compreender a relação entre energia de ativação, perfil energético e velocidade da reação.

De modo geral, a atividade favoreceu compreensões iniciais sobre o papel do catalisador na velocidade das reações químicas, ao mesmo tempo em que evidenciou dificuldades relacionadas à interpretação de gráficos e à formalização conceitual dos fenômenos observados.

Dando continuidade à etapa “Observar”, foi realizada uma discussão em grupo com o objetivo de identificar qual fator os estudantes consideraram mais impactante para acelerar a reação química, com base nas observações realizadas ao longo das atividades no simulador. A questão proposta não teve como finalidade identificar um fator cientificamente mais eficaz, mas compreender quais variáveis os estudantes consideraram mais relevantes a partir das experiências realizadas e quais explicações mobilizaram para justificar suas escolhas.

As respostas e justificativas apresentadas pelos grupos possibilitaram identificar diferentes níveis de compreensão conceitual, desde reconhecimentos empíricos mais imediatos até tentativas iniciais de integração entre múltiplos fatores cinéticos. As categorias emergentes, apresentadas no Quadro 14, evidenciam tanto avanços na construção de significados quanto dificuldades na diferenciação entre as variáveis investigadas.

Quadro 14 - Categorias emergentes referentes aos fatores que influenciam a velocidade das reações químicas

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Temperatura como principal fator de aceleração da reação química.	Reconhecimento da temperatura como o fator mais impactante para acelerar a reação, com base na observação direta da rapidez do processo, sem aprofundamento explicativo.	“O calor, quanto mais alta for a temperatura, maior a velocidade da reação.” (G1)	25%
2. Associação entre temperatura e aumento da agitação/movimento das partículas.	Explicações que relacionam o aumento da temperatura à maior agitação ou velocidade de movimento das partículas, aproximando-se do nível submicroscópico.	“A temperatura pois quanto maior a temperatura maior a agitação e velocidade de movimentos das partículas.” (G4)	38%
3. Concentração dos reagentes como fator determinante da rapidez da reação.	Ênfase na quantidade de reagentes como responsável pela aceleração da reação, associando maior concentração a menor tempo de formação do produto.	“Se tiver mais quantidades, as partículas se juntam e formam o produto em tomo de 1 seg.” (G2)	13%
4. Catalisador como fator de aceleração da reação química.	Reconhecimento do catalisador como elemento que favorece a rapidez da reação, ainda que com explicações predominantemente descritivas.	“No meu experimento o que mais impactou foi com catalisador os reagentes se movimentam mais rápido.” (G5)	13%
5. Integração ou sobreposição de fatores cinéticos.	Respostas que combinam ou confundem diferentes fatores da cinética química (temperatura, concentração e catalisador), revelando dificuldades de distinção conceitual.	“Quanto mais concentração menor o tempo quanto mais alta a temperatura mais rápido a fusão.” (G8)	25%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise das respostas dos estudantes à questão integradora sobre o fator mais impactante para acelerar a reação química evidencia que a temperatura foi o elemento mais frequentemente destacado pelos grupos. As falas indicam que os estudantes associaram o aumento da temperatura à maior rapidez da reação, reconhecendo que, em condições de temperatura elevada, a transformação química ocorre em menor intervalo de tempo. Esse reconhecimento, presente nos grupos G1 e G3, revela uma compreensão empírica construída a partir das observações realizadas durante a simulação, especialmente na comparação entre os cenários de temperatura baixa, média e alta.

Em um nível de elaboração conceitual mais avançado, alguns grupos estabeleceram explicitamente a relação entre temperatura e aumento da agitação das partículas, conforme evidenciado nas respostas dos grupos G4, G6 e G7. Nessas falas, a aceleração da reação não é atribuída apenas ao fator temperatura, mas ao efeito desse fator sobre o comportamento das partículas no sistema reacional. Tal compreensão aproxima-se dos pressupostos da Teoria das Colisões, ao reconhecer que o aumento da temperatura favorece colisões mais frequentes entre as partículas.

A concentração dos reagentes foi apontada como o fator predominante apenas pelo grupo G2, que associou o aumento da quantidade de partículas à formação mais rápida dos produtos. Embora a explicação ainda apresente linguagem cotidiana e pouca formalização conceitual, observa-se que os estudantes mobilizaram observações realizadas em atividades anteriores para justificar suas interpretações.

O catalisador foi mencionado isoladamente pelo grupo G5, que relacionou sua presença à maior rapidez da reação. Apesar das imprecisões presentes na justificativa, a resposta evidencia que os estudantes reconhecem o catalisador como um elemento capaz de favorecer o processo reacional, ainda sem explicitar adequadamente seu papel na redução da energia de ativação.

Também emergiu a categoria relacionada à integração ou sobreposição de fatores cinéticos, identificada nas respostas dos grupos G6 e G8. Nessas falas, os estudantes mencionaram simultaneamente temperatura, concentração e catalisador, sem diferenciar claramente os efeitos específicos de cada variável. Esse aspecto evidencia dificuldades na delimitação conceitual dos fatores que influenciam a velocidade das reações químicas, indicando que os conhecimentos construídos ainda se encontram em processo de organização.

Na sequência da etapa “Observar”, apresenta-se a análise da questão reflexiva em que os estudantes foram convidados a comparar os resultados obtidos nas simulações com suas previsões iniciais, identificando possíveis divergências e aspectos que chamaram atenção durante os experimentos virtuais. Essa atividade buscou favorecer um movimento de reflexão sobre as próprias interpretações construídas ao longo das interações com o simulador. A partir do processo de unitarização e categorização, foram identificadas categorias emergentes relacionadas ao reconhecimento de resultados inesperados, à confirmação de expectativas iniciais e às tentativas de articulação entre diferentes fatores cinéticos, conforme apresentado no Quadro 15.

Quadro 15 - Categorias emergentes referentes às relações estabelecidas entre previsões iniciais e resultados observados nas simulações

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Reconhecimento de resultados inesperados em relação às previsões iniciais.	Refere-se às respostas em que os estudantes identificam discrepâncias entre o que esperavam inicialmente e os resultados observados na simulação, destacando surpresa ou diferença em relação às previsões.	“O resultado das reações chamou atenção devido aos resultados rápidos e diferentes de como nós imaginava.” (G1)	38%

2. Confirmação das expectativas a partir da observação experimental.	Engloba falas em que os estudantes indicam que os resultados observados corresponderam ao que era esperado, reforçando ideias prévias sobre os fatores que influenciam a velocidade das reações.	“Nenhum resultado foi muito diferente do esperado, me chamou atenção como o número de partículas e temperatura pode afetar a velocidade.” (G4)	13%
3. Percepção do tempo de reação como elemento relevante da observação.	Relacionada à atenção dos estudantes para a variação do tempo de ocorrência das reações, com foco na rapidez ou lentidão do processo, ainda sem explicações causais aprofundadas.	“Percebemos as diferenças de cronometragem de tempo das reações.” (G6)	25%
4. Associação entre fatores cinéticos específicos e a rapidez da reação.	Reúne respostas em que os estudantes atribuem a aceleração ou lentidão da reação a um fator específico, como temperatura ou concentração, de forma direta e pontual.	“Dependendo da quantidade de partículas a reação é facilitada.” (G7)	38%
5. Integração ou sobreposição de múltiplos fatores cinéticos.	Categoria que evidencia tentativas iniciais de articulação entre mais de um fator cinético (temperatura, concentração), ainda sem distinção clara entre seus efeitos específicos.	“Foi a concentração... foi ficando mais rápido com a temperatura alta.” (G3)	13%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A categoria “Reconhecimento de resultados inesperados em relação às previsões iniciais”, identificada nas respostas dos grupos G1, G2 e G6, evidencia que parte dos estudantes percebeu diferenças entre aquilo que imaginava antes da realização dos experimentos e os resultados efetivamente observados no simulador. As falas destacam, principalmente, a rapidez das reações e as diferenças nos tempos de ocorrência, indicando que a visualização dinâmica proporcionada pela simulação favoreceu a revisão de expectativas iniciais. Esse confronto entre previsão e observação constitui um elemento central da etapa “Observar” do método POE, ao estimular a problematização das ideias prévias dos estudantes.

Por outro lado, a categoria “Confirmação das expectativas a partir da observação experimental”, representada pelo grupo G4, indica que, para alguns estudantes, os resultados observados corresponderam às concepções previamente construídas acerca dos fatores que influenciam a velocidade das reações químicas. Nesse caso, a simulação atuou como um elemento de reforço de concepções já existentes, especialmente ao papel da temperatura e da quantidade de partículas no sistema reacional.

A categoria “Percepção do tempo de reação como elemento relevante da observação”, presente nas respostas dos grupos G5 e G6, revela que os estudantes atribuíram destaque ao aspecto temporal das reações, enfatizando a duração ou a rapidez do processo, mesmo sem apresentar explicações causais mais detalhadas. O uso de cronômetros e representações gráficas no simulador contribuiu para direcionar a atenção dos alunos a indicadores macroscópicos observáveis, favorecendo comparações entre diferentes condições experimentais.

Na categoria “Associação entre fatores cinéticos específicos e a rapidez da reação”, identificada nas respostas dos grupos G2, G7 e G8, observa-se que os estudantes passaram a relacionar a aceleração da reação a fatores específicos, como temperatura ou concentração. Embora essas explicações ainda apareçam de forma pontual e acompanhadas, em alguns casos, de linguagem cotidiana, elas demonstram avanços em direção à construção de relações causais entre as variáveis manipuladas e os resultados observados.

Por fim, a categoria “Integração ou sobreposição de múltiplos fatores cinéticos”, representada pelo grupo G3, evidencia tentativas iniciais de articular simultaneamente variáveis como temperatura e concentração para explicar os fenômenos observados. Apesar das dificuldades na diferenciação dos efeitos específicos de cada fator, essas respostas revelam um movimento de síntese conceitual em construção, característico de processos iniciais de aprendizagem.

Na continuidade da etapa “Observar” do método POE, analisam-se as percepções dos estudantes acerca das vantagens do uso de simuladores computacionais para a observação dos fenômenos químicos investigados. Essa questão buscou compreender como os alunos avaliaram o papel da simulação enquanto recurso didático, especialmente em relação à visualização dos processos reacionais, à manipulação de variáveis e às possibilidades de experimentação proporcionadas pelo ambiente virtual.

As respostas evidenciaram que a interação com o simulador PhET foi reconhecida como um elemento facilitador da observação e da compreensão dos fenômenos relacionados à Cinética Química. Os estudantes demonstraram envolvimento significativo durante as atividades, principalmente pela possibilidade de manipular variáveis e observar imediatamente as alterações no comportamento do sistema reacional. Em diferentes momentos, os grupos repetiram espontaneamente os experimentos, testando novas combinações e discutindo entre si os efeitos observados nas partículas e nos tempos de reação.

As categorias emergentes, apresentadas no Quadro 16, revelam diferentes formas de atribuição de sentido à experiência com o ambiente virtual, abrangendo desde aspectos mais descritivos até tentativas iniciais de interpretação conceitual dos fenômenos observados.

Quadro 16 - Categorias emergentes referentes às vantagens do uso de simulações computacionais na etapa Observar da metodologia POE

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Visualização dos fenômenos químicos e de suas transformações.	Expressa o reconhecimento da simulação como um recurso que possibilita observar as reações químicas, suas transformações e o funcionamento geral dos processos de forma	“Conseguir visualizar as reações e a forma que elas são afetadas por fatores como	50%

	clara e dinâmica. As explicações concentram-se no nível fenomenológico e descritivo.	temperatura e quantidade de partículas ajudou a entender os fenômenos.” (G4)	
2. Compreensão da influência de fatores cinéticos por meio da simulação.	Refere-se à percepção de que o simulador facilita a compreensão dos efeitos de variáveis como temperatura, quantidade de partículas e concentração sobre a velocidade das reações, indicando tentativas iniciais de explicação causal.	“As vantagens foram a melhor visibilidade da temperatura agindo com as moléculas.” (G6)	38%
3. Ampliação das possibilidades de experimentação e testagem.	Abrange falas que destacam a possibilidade de realizar diversos testes, variar condições experimentais e explorar diferentes combinações de forma segura e flexível, ampliando o caráter investigativo da atividade.	“Uma das vantagens foi aprender mais sobre esses fenômenos porque dava para testar várias reações diferentes.” (G3)	38%
4. Aproximação de aspectos microscópicos e maior detalhamento da observação.	Evidencia tentativas de compreender o comportamento das partículas e das moléculas, destacando o acesso a detalhes microscópicos que não são facilmente observáveis em experimentos tradicionais.	“As vantagens foram a melhor visibilidade da temperatura agindo com as moléculas, também poder enxergar os detalhes.” (G6)	13%
5. Reconhecimento do simulador como ferramenta de apoio ao aprendizado.	Inclui respostas que valorizam a simulação de forma mais geral, destacando-a como um recurso que auxilia o estudo e a aprendizagem, ainda sem explicitação clara de relações conceituais ou explicações mais elaboradas.	“As vantagens é estudar mais de perto como funciona uma simulação.” (G2)	13%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A categoria “Visualização dos fenômenos químicos e de suas transformações”, identificada nas falas dos grupos G1, G4, G5 e G8, foi a mais recorrente. Os estudantes destacaram a possibilidade de acompanhar visivelmente as reações químicas e observar as mudanças relacionadas à temperatura, concentração e formação de produtos. As respostas indicam que as representações dinâmicas do simulador favoreceram a compreensão de fenômenos frequentemente considerados abstratos no ensino de Química, especialmente aqueles relacionados ao comportamento das partículas.

A categoria “Compreensão da influência de fatores cinéticos por meio da simulação”, presente nos grupos G1, G4 e G6, revela um nível de elaboração conceitual mais avançado. Nessas respostas, a simulação não é percebida apenas como recurso visual, mas como uma ferramenta capaz de auxiliar na compreensão da influência de variáveis específicas sobre o comportamento das partículas e a velocidade das reações. Observa-se, assim, um movimento em direção à construção de explicações causais, ainda que em linguagem não formalizada cientificamente.

A categoria “Ampliação das possibilidades de experimentação e testagem”, identificada nos grupos G1, G3 e G7, evidencia o reconhecimento do simulador como um ambiente que possibilita a realização de múltiplos testes e a exploração de diferentes cenários experimentais.

Os estudantes destacaram a possibilidade de repetir experimentos e manipular diferentes combinações de reagentes e condições, aspecto que amplia o potencial investigativo da atividade e favorece maior participação dos alunos durante as discussões em grupo.

A categoria “Aproximação de aspectos microscópicos e maior detalhamento da observação”, representada pelo grupo G6, evidencia tentativas mais refinadas de interpretação dos fenômenos observados. Ao mencionar a visualização da temperatura “agindo sobre as moléculas” e a possibilidade de observar detalhes do processo reacional, o grupo demonstra uma aproximação inicial entre os níveis macroscópico e submicroscópico da Química, aspecto relevante para a compreensão dos mecanismos envolvidos nas reações químicas.

Por fim, a categoria “Reconhecimento do simulador como ferramenta de apoio ao aprendizado”, identificada na resposta do grupo G2, destaca a percepção do simulador como um recurso pedagógico facilitador da aprendizagem. Embora a resposta apresente caráter mais geral, ela evidencia a valorização do ambiente virtual enquanto suporte para a compreensão dos conteúdos trabalhados.

Na sequência da etapa “Observar”, apresenta-se a análise das conclusões elaboradas pelos estudantes a partir das simulações realizadas. Nessa atividade, os alunos foram convidados a sintetizar os principais aprendizados construídos ao longo das experiências virtuais, articulando os diferentes fatores cinéticos explorados durante as atividades.

A análise das conclusões evidencia diferentes níveis de apropriação conceitual acerca dos fatores que influenciam a velocidade das reações químicas. As respostas possibilitaram a construção de categorias analíticas (Quadro 17), variando desde explicações mais próximas da linguagem científica até formulações marcadas pelo uso de termos do cotidiano e por imprecisões conceituais. Esse conjunto de resultados revela um panorama heterogêneo, coerente com o caráter formativo e investigativo da etapa “Observar” do método POE.

Quadro 17 - Categorias emergentes referentes às conclusões dos estudantes sobre os fatores que influenciam a velocidade das reações químicas

Categorias	Descrição	Unidades de sentidos	Respostas incluídas
1. Explicações mais próximas da linguagem científica.	Respostas que articulam fatores cinéticos com relações causais explícitas, utilizando termos próximos à linguagem científica, ainda que sem formalismo completo.	“O calor aumenta e agita, fazendo com que a velocidade da reação ocorra mais rápido.” (G1)	50%
2. Menção dos fatores e tentativas iniciais de explicação.	Respostas que identificam diferentes fatores que influenciam, mas apresentam explicações parciais, descritivas ou com articulação conceitual ainda incipiente.	“Temperatura, quantidade e catalisadores são fatores que influenciam.” (G4)	38%

3. Explicações com linguagem cotidiana ou imprecisões conceituais.	Respostas que utilizam termos do cotidiano, apresentam confusões conceituais ou substituições inadequadas de conceitos científicos, indicando dificuldades na formalização científica da explicação.	“O temperamento e os reagentes são necessários para formar produtos mais rápido.” (G2)	38%
--	--	--	-----

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Na categoria “Explicações mais próximas da linguagem científica”, representada pelos grupos G1, G3, G6 e G7, observa-se a articulação entre variáveis cinéticas, especialmente temperatura e concentração, e seus efeitos sobre a rapidez das reações. Os estudantes estabelecem relações de causa e efeito ao associar o aumento da temperatura à maior agitação das partículas e reconhecer o papel da concentração no aumento das colisões. Ainda que as explicações não apresentem formalização teórica aprofundada, nota-se um avanço na organização conceitual a partir das observações realizadas durante as simulações.

A categoria “Menção dos fatores e tentativas iniciais de explicação”, identificada nos grupos G4, G5 e G8, reúne respostas que reconhecem corretamente os principais fatores que influenciam a velocidade das reações químicas, como temperatura, concentração e catalisadores, porém com explicações ainda predominantemente descritivas ou pouco diferenciadas. Nesses casos, os estudantes demonstram compreender quais variáveis interferem no processo reacional, mas apresentam dificuldades em explicitar de forma mais clara como esses fatores atuam sobre o sistema. Esse padrão sugere um estágio intermediário de elaboração conceitual, no qual os conhecimentos começam a ser organizados, mas ainda necessitam de maior sistematização (Moreira, 2012).

Por sua vez, a categoria “Explicações com linguagem cotidiana ou imprecisões conceituais”, representada pelos grupos G2, G5 e G8, evidencia limites na formalização científica das conclusões apresentadas. O uso de expressões do senso comum e a ausência de relações causais mais definidas indicam que parte dos estudantes ainda se apoia em interpretações intuitivas para explicar os fenômenos observados. Apesar disso, tais respostas revelam conhecimentos iniciais que podem ser progressivamente reorganizados por meio da mediação docente na etapa “Explicar” do método POE (Moreira, 2012).

De forma integrada, as análises desenvolvidas ao longo da etapa “Observar” evidenciam que o uso do simulador computacional favoreceu não apenas a construção de significados relacionados à Cinética Química, mas também ampliou as possibilidades de interação, exploração e investigação dos fenômenos químicos pelos estudantes. A visualização dinâmica do movimento das partículas, das colisões e da formação dos produtos despertou curiosidade, promoveu discussões entre os grupos e estimulou a comparação entre diferentes condições

experimentais. Ao longo das atividades, os estudantes revisaram previsões iniciais, confirmaram hipóteses e problematizaram concepções prévias a partir das observações realizadas no ambiente virtual.

Apesar dos avanços observados, persistiram dificuldades relacionadas à diferenciação entre os fatores cinéticos, ao uso da linguagem científica e à interpretação de representações submicroscópicas e gráficas, evidenciando que a construção conceitual ocorreu de forma gradual e processual. Sob a perspectiva da Aprendizagem Significativa, esses resultados indicam que a etapa “Observar” cumpriu papel relevante na ativação e reorganização de subsunçores, criando condições favoráveis para o aprofundamento conceitual na etapa “Explicar”, por meio da mediação docente e da sistematização dos conhecimentos construídos ao longo das interações com o simulador.

5.3 ANÁLISE ETAPA EXPLICAR À LUZ DE INDICADORES DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A etapa “Explicar”, correspondente ao terceiro momento da metodologia POE, constitui-se como o momento em que os estudantes são convidados a interpretar os fenômenos observados, reelaborar suas hipóteses iniciais e explicitar os significados construídos ao longo da investigação. Trata-se de uma fase essencial do processo, pois possibilita a externalização das compreensões elaboradas, favorecendo a reorganização cognitiva e a articulação entre conhecimentos prévios e novos conteúdos. Nesse sentido, a etapa “Explicar” não representa apenas a apresentação de uma resposta final, mas o espaço em que se evidenciam possíveis transformações conceituais decorrentes da experiência investigada.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, esse momento assume especial relevância por permitir identificar como os novos conhecimentos interagem com os subsunçores previamente existentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Assim, buscou-se identificar evidências de diferenciação progressiva, compreendida como o processo em que conceitos inicialmente amplos, genéricos ou apoiados apenas em observações macroscópicas passam a ser progressivamente especificados e enriquecidos conceitualmente. No contexto da Cinética Química, esse movimento foi observado quando os estudantes avançaram de explicações superficiais sobre os fenômenos para interpretações mais elaboradas envolvendo aspectos como colisões moleculares, energia de ativação, frequência de colisões e influência das variáveis cinéticas sobre a velocidade das reações.

Também foram analisadas evidências de reconciliação integradora, entendida como a capacidade de relacionar conceitos anteriormente apresentados de forma fragmentada, estabelecendo articulações entre diferentes níveis explicativos. Na presente pesquisa, esse indicador manifestou-se especialmente quando os estudantes conseguiram integrar observações macroscópicas, como aumento da velocidade de reação ou intensidade da combustão, a interpretações submicroscópicas relacionadas ao comportamento das partículas e à dinâmica das colisões moleculares. Dessa forma, buscou-se compreender se os estudantes passaram a estabelecer relações mais coerentes e integradas entre os diferentes conceitos envolvidos na Cinética Química. Também foram considerados indicadores relacionados à relação entre variáveis cinéticas, à manutenção de concepções prévias e à ausência ou limitação de resposta.

A análise dessa etapa foi conduzida a partir de uma abordagem dedutiva, caracterizada pelo movimento do geral para o particular, no qual os indicadores analíticos foram definidos previamente à leitura do corpus, com base no referencial teórico que sustenta a pesquisa, configurando-se como categorias a priori (Moraes e Galiazzi, 2016). Esses indicadores foram operacionalmente descritos, estabelecendo critérios claros para a identificação das evidências nas respostas dos estudantes. Tal procedimento buscou conferir maior rigor e transparência ao processo analítico, permitindo que a categorização das falas estivesse ancorada em fundamentos teóricos consistentes.

Importa destacar que a identificação dos indicadores não ocorreu de forma isolada, mas a partir da comparação entre as respostas produzidas nas etapas “Prever” e “Explicar”. Essa comparação possibilitou analisar o movimento conceitual dos estudantes, evidenciando permanências, ampliações, reorganizações ou limitações na construção dos significados. Dessa forma, a análise não se restringiu à produção final apresentada na etapa “Explicar”, mas considerou o percurso cognitivo manifestado ao longo do processo investigativo.

Ressalta-se, ainda, que nem toda modificação discursiva foi considerada evidência de aprendizagem significativa. Para que fosse caracterizada como tal, era necessário que a resposta evidenciasse articulação conceitual consistente, com relações substantivas entre o novo conhecimento e os subsunçores previamente mobilizados, conforme preconiza Ausubel. Alterações superficiais, repetições literais ou simples substituições terminológicas não foram interpretadas como indicativas de evolução conceitual.

Com o objetivo de conferir maior rigor metodológico e transparência analítica, apresenta-se, a seguir, o quadro síntese dos indicadores de aprendizagem significativa (Quadro 18) empregados na análise da etapa “Explicar”.

Quadro 18 - Indicadores de aprendizagem significativa e critérios de análise da Etapa “Explicar”

Indicador	Definição operacional (o que se busca identificar)	Evidências de aprendizagem (o que observar nas falas)
I1. Diferenciação progressiva.	Evidências de ampliação e refinamento conceitual, nas quais o estudante evolui de concepções gerais para explicações progressivamente mais específicas e elaboradas, desdobrando o conceito central em aplicações relacionadas aos diferentes fenômenos investigados.	Explicações que evidenciam avanço da descrição macroscópica para interpretações mais específicas sobre o processo cinético, incorporando conceitos como colisões moleculares, energia de ativação, frequência de colisões e influência de variáveis cinéticas (temperatura, concentração e superfície de contato) na velocidade das reações.
I2. Reconciliação integradora.	Capacidade de relacionar e reorganizar conceitos anteriormente apresentados de forma fragmentada, promovendo a integração entre diferentes ideias e entre os níveis macroscópico (observável) e submicroscópico (molecular) de explicação.	Articulação entre efeitos visíveis (ex.: cozimento, decomposição, digestão) e causas não diretamente observáveis (ex.: colisões moleculares, energia envolvida, reorganização de partículas).
I3. Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis.	Identificação e explicitação de relações entre fatores que influenciam a velocidade das transformações químicas, tais como temperatura, pressão, superfície de contato, concentração ou ação enzimática.	Estabelecimento de relações de causa e efeito, expressas de forma direta ou comparativa, como: “quanto maior/menor (variável), mais rápida/lenta é a reação”.
I4. Manutenção rígida ou ausência de modificação nas concepções prévias.	Persistência de ideias oriundas do senso comum ou de concepções prévias, sem evidência de avanço conceitual após a intervenção didática, indicando ausência de reorganização significativa dos significados.	Uso de analogias cotidianas limitadas, explicações vagas (ex.: “derreter”, “estragar”, “misturar”) ou repetição literal das respostas da etapa “Prever”.
I5. Ausência ou limitação de resposta.	Impossibilidade de análise da evolução conceitual em função da ausência de resposta ou da presença de respostas incompletas, genéricas ou sem relação explicativa com o fenômeno investigado.	Campos em branco, respostas como “não sei”, “por causa da química” ou frases sem relação causal ou explicativo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A partir dos indicadores apresentados no Quadro 18, procedeu-se à análise das respostas dos estudantes na etapa “Explicar”, considerando tanto a frequência de ocorrência de cada categoria quanto a qualidade das evidências manifestadas nas falas. Inicialmente, apresenta-se um panorama geral dos indicadores identificados no conjunto das situações-problema, buscando evidenciar tendências predominantes no processo de construção conceitual. Em seguida, a análise é aprofundada por meio da discussão detalhada das respostas em cada questão investigativa.

5.3.1 Panorama geral dos indicadores

A análise do conjunto das situações-problema desenvolvidas na etapa “Explicar” evidenciou diferentes níveis de elaboração conceitual entre os estudantes, indicando tanto avanços na organização cognitiva quanto a persistência de concepções prévias. Considerando as oito questões aplicadas ao longo da sequência didática, observou-se a incidência dos cinco indicadores previamente definidos, com variações em sua frequência e intensidade de manifestação.

A síntese quantitativa desses indicadores encontra-se apresentada no Quadro 19. Os percentuais foram obtidos a partir da frequência de ocorrência de cada indicador nas respostas dos estudantes em cada questão investigativa. Para isso, as respostas produzidas na etapa “Explicar” foram analisadas comparativamente em relação às respostas apresentadas na etapa “Prever”, buscando identificar evidências de ampliação conceitual, reorganização de significados, estabelecimento de relações entre conceitos e permanência de concepções prévias. Cada resposta poderia apresentar mais de um indicador simultaneamente, uma vez que os movimentos cognitivos identificados não se configuram como categorias mutuamente excludentes.

Quadro 19 - Panorama geral dos indicadores de aprendizagem significativa na etapa “Explicar”

Indicador	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
I1 - Diferenciação Progressiva	44%	34%	53%	41%	47%	31%	25%	41%
I2 - Reconciliação Integradora	19%	25%	28%	22%	19%	16%	9%	16%
I3 - Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis	41%	31%	47%	31%	47%	44%	31%	53%
I4 - Manutenção rígida ou ausência de modificação nas concepções prévias	47%	63%	38%	53%	50%	59%	63%	44%
I5 - Ausência ou limitação de resposta	3%	3%	9%	6%	3%	9%	16%	9%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A leitura do Quadro 19 revela uma dinâmica cognitiva heterogênea, na qual a manifestação dos indicadores oscila conforme a natureza do fenômeno investigado e o nível de abstração conceitual exigido em cada situação-problema.

O indicador de *Diferenciação progressiva (I1)* apresentou ocorrência significativa em diversas situações, variando entre 25% (Q7) e 53% (Q3). Esses percentuais evidenciam movimentos de ampliação, refinamento e especificação conceitual em parte expressiva das respostas analisadas. As evidências desse indicador foram identificadas quando os estudantes passaram de descrições genéricas ou estritamente macroscópicas para explicações mais

específicas relacionadas aos princípios da Cinética Química. Em diferentes respostas, observou-se, por exemplo, a incorporação de conceitos como colisões moleculares, aumento da agitação das partículas, energia envolvida nas reações e influência de variáveis cinéticas sobre a velocidade reacional. Assim, considerou-se como diferenciação progressiva não apenas a ampliação textual da resposta, mas principalmente a presença de maior detalhamento conceitual e aproximação ao modelo científico discutido ao longo da sequência didática.

De modo semelhante, o indicador de *Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis (I3)* apresentou resultados consistentes, destacando-se especialmente na Q8 (53%), Q5 (47%) e Q3 (47%). Esses resultados evidenciam esforços dos estudantes em articular diferentes variáveis cinéticas, como temperatura, pressão, superfície de contato, concentração e quantidade de reagente, relacionando-as aos efeitos observados na velocidade das reações químicas. Nesses casos, as respostas demonstraram não apenas reconhecimento isolado das variáveis, mas tentativas de estabelecer relações de causa e efeito entre os fenômenos observados e os conceitos científicos envolvidos.

Entretanto, o indicador de *Manutenção rígida ou ausência de modificação nas concepções prévias (I4)* apresentou os maiores percentuais na maior parte das questões, alcançando 63% na Q2 e na Q7, 59% na Q6 e 53% na Q4. Esse dado evidencia que parcela significativa dos estudantes manteve explicações semelhantes às formuladas na etapa “Prever” ou permaneceu ancorada em interpretações do senso comum, sinalizando limites na reorganização mais profunda da estrutura cognitiva. É importante ressaltar que a presença desse indicador não implica, necessariamente, erro conceitual, mas ausência de evidências suficientes de reorganização significativa dos significados. Essa manutenção manifestou-se principalmente por meio de repetição literal de respostas anteriores, permanência de obstáculos fenomenológicos e da persistência de concepções alternativas relacionadas aos fenômenos químicos investigados.

A *Reconciliação Integradora (I2)* apresentou os menores percentuais entre os indicadores analisados, variando entre 9% (Q7) e 28% (Q3). Embora parte dos estudantes tenha conseguido ampliar e especificar conceitos (movimento característico da diferenciação progressiva), um número mais restrito demonstrou capacidade de integrar ideias anteriormente fragmentadas, resolver inconsistências conceituais ou reorganizar hierarquicamente seus significados. As evidências desse indicador foram identificadas quando os estudantes conseguiram relacionar, de forma articulada, explicações macroscópicas e submicroscópicas dos fenômenos, integrando conceitos como pressão, temperatura, movimento molecular e velocidade reacional em uma mesma estrutura explicativa.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, esse resultado mostra-se coerente com a compreensão de que a diferenciação progressiva tende a ocorrer com maior frequência por estar associada à aprendizagem significativa subordinada, na qual novos significados são incorporados a conceitos já existentes. Já a reconciliação integradora aproxima-se da aprendizagem significativa superordenada, envolvendo reorganizações cognitivas mais amplas e abstratas, o que torna esse movimento menos recorrente e cognitivamente mais exigente (Moreira, 2012).

O maior equilíbrio entre avanço conceitual e reorganização cognitiva foi observado na Q3 (Panela de pressão), na qual se verificam os maiores índices de *Diferenciação progressiva* (I1 - 53%) e *Reconciliação integradora* (I2 - 28%), além de percentual expressivo de *Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis* (I3 - 47%). Embora o indicador de *Manutenção de concepções prévias* (I4 - 38%) ainda apresente relevância nessa questão, observa-se um cenário mais favorável à evolução conceitual quando comparado às demais situações investigadas.

Esse movimento pode ser exemplificado na resposta do aluno 21:

[Etapa prever]: *Por conta do calor acaba causando um amolecimento da comida quando acrescentada a pressão na gravidade [...]*

[Etapa explicar]: *Em um ambiente que tem maior pressão as moléculas se mexem muito mais rápido e com tudo acaba amolecendo a comida.*

Na comparação entre as respostas, observa-se que o estudante deixa de utilizar apenas uma explicação genérica baseada no “calor” e passa a incorporar relações entre pressão, movimento molecular e transformação observada no alimento. Esse deslocamento evidencia ampliação conceitual e maior especificação explicativa, características da diferenciação progressiva. Além disso, ao relacionar pressão e comportamento das partículas ao fenômeno macroscópico observado, a resposta também demonstra estabelecimento de relações conceituais mais articuladas.

De modo geral, os dados indicam que a aprendizagem observada na etapa “Explicar” caracterizou-se predominantemente por movimentos de ampliação e especificação conceitual, enquanto os processos de integração hierárquica e reorganização mais profunda dos significados, próprios da reconciliação integradora, manifestaram-se de forma mais restrita. Tal achado reforça a compreensão de que integrar e reorganizar conceitos exige subsunções

suficientemente estáveis para possibilitar relações horizontais e verticais entre os conhecimentos, conforme proposto por Ausubel (Sousa; Silvano; Lima, 2018).

5.3.2 Indicadores nas situações problemas

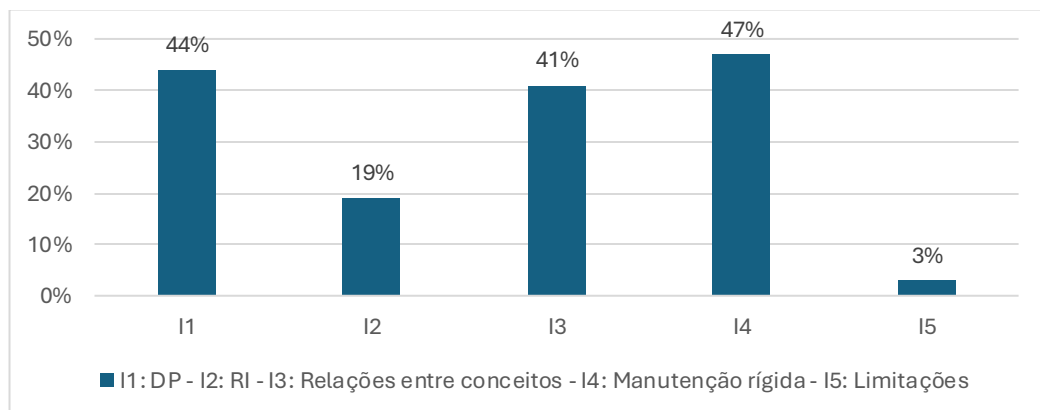
A análise detalhada das situações-problema que compõem a etapa “Explicar” foi estruturada de modo a evidenciar o movimento de reestruturação cognitiva dos estudantes em cada contexto investigativo. Para tanto, procedeu-se a um exame minucioso de cada questão, confrontando os sentidos manifestados na etapa “Prever” com as explicações elaboradas após a mediação pelos simuladores computacionais. Essa abordagem, realizada questão a questão e fundamentada nos ciclos de unitarização e categorização da ATD, permitiu captar as nuances da Aprendizagem Significativa em diferentes contextos relacionados às variáveis da Cinética Química.

Questão 1: Compreensão inicial sobre reação química

A Questão 1 solicitou que os estudantes explicitassem sua compreensão acerca do que é uma reação química e como ela ocorre. Por se tratar de uma pergunta conceitual ampla e estruturante, esta questão mobiliza conhecimentos prévios gerais sobre transformações da matéria, constituindo um importante ponto de partida para análise da estrutura cognitiva dos participantes.

O Gráfico 1 apresenta a frequência das categorias identificadas nas respostas dos estudantes.

Gráfico 1 - Frequência das categorias na Questão 1



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

O panorama apresentado revela uma tensão cognitiva significativa: embora parte expressiva dos estudantes tenha ampliado ou especificado suas concepções sobre reação química (I1), ainda se observa elevada permanência de concepções prévias (I4). Tal resultado sugere que a interação com o simulador favoreceu, em muitos casos, o refinamento de ideias inicialmente genéricas sobre “transformação da matéria”, conduzindo os estudantes à incorporação de explicações mais próximas do modelo científico relacionado à dinâmica das partículas e às colisões moleculares.

Esse resultado indica que, ao tratar de um conceito estruturante e amplamente presente na educação básica, muitos estudantes recorrem a definições cristalizadas, como “mistura de substâncias” ou “mudança de estado”, sem necessariamente promover reorganizações significativas em seus esquemas conceituais. Em diversos casos, observou-se a permanência de explicações centradas apenas na percepção visível do fenômeno, sem articulação com interpretações submicroscópicas relacionadas à reorganização das partículas.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, a presença expressiva do indicador de Diferenciação Progressiva (I1) aponta para movimentos típicos de aprendizagem subordinada, nos quais novos elementos explicativos passam a ser incorporados a conceitos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes (Moreira, 2012). As evidências desse indicador foram identificadas quando os participantes deixaram de utilizar explicações genéricas ou exclusivamente macroscópicas e passaram a incorporar conceitos mais específicos, como reorganização de átomos, colisões moleculares, energia suficiente para reação e transformação estrutural das substâncias.

Esse movimento pode ser observado, por exemplo, nas respostas do aluno A30:

[Prever]: *“São reações que vão se propagando [...] ela ocorre por meio de soluções, cálculos e etc.”*

[Explicar]: *“É a transformação de substâncias através de reorganização dos átomos e ela ocorre por meio das colisões entre as partículas com energia suficiente [...]”*

Na resposta inicial, o estudante ancora sua compreensão em elementos associados à rotina escolar, como “soluções” e “cálculos”, revelando um subsunçor ainda difuso e pouco estruturado conceitualmente. Após a mediação com o simulador, entretanto, a explicação evidencia um movimento de reorganização e refinamento conceitual ao incorporar a ideia de rearranjo atômico e colisões efetivas entre partículas. O fenômeno deixa de ser compreendido apenas como um procedimento operacional e passa a ser explicado como um processo dinâmico

envolvendo interação molecular e energia necessária para a ocorrência da reação. Esse deslocamento evidencia Diferenciação Progressiva, pois o conceito inicial é ampliado, especificado e enriquecido por novos significados cientificamente mais elaborados.

Além disso, o elevado percentual do indicador de Manutenção rígida ou ausência de modificação nas concepções prévias (I4) sugere que, para uma parcela significativa dos estudantes, as novas informações não foram suficientes para promover reorganização conceitual substantiva. Em diversos casos, verificou-se apenas ampliação terminológica, sem alteração estrutural do significado atribuído ao conceito de reação química.

Essa limitação pode ser exemplificada pelas respostas do aluno A16:

[Prever]: *“Para mim e quando unimos dois elementos ou mais que quando juntos geram um efeito/reação”*

[Explicar]: *“É uma reação que ocorre quando misturamos elementos como reagentes e etc.”*

Nesse caso, nota-se estabilidade semântica entre as duas etapas. Embora o estudante introduza o termo “reagentes” o núcleo explicativo permanece centrado na ideia de “mistura”, sem incorporação de elementos relacionados à reorganização das partículas ou às transformações químicas em nível microscópico. Sob a perspectiva ausubeliana, trata-se de uma ancoragem pouco diferenciada, na qual a nova informação é incorporada de maneira superficial, sem provocar modificações relevantes na organização hierárquica dos conceitos previamente existentes.

A ocorrência do indicador de Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis (I3) demonstra, contudo, que parte dos estudantes conseguiu articular elementos como reagentes, produtos, energia e transformação da matéria, evidenciando maior inter-relação conceitual e organização dos significados construídos. Nessas respostas, observou-se tentativa de explicar não apenas “o que” ocorre em uma reação química, mas também “como” e “por que” o fenômeno acontece.

Já a Reconciliação Integradora (I2), que pressupõe reorganização mais profunda da estrutura cognitiva e resolução de inconsistências conceituais, apresentou percentual mais discreto. Esse resultado mostra-se coerente com a complexidade desse movimento cognitivo, pois a transição de um modelo estático, centrado apenas na mistura de substâncias, para um modelo dinâmico fundamentado em colisões moleculares e rearranjos atômicos exige não apenas ampliação conceitual, mas integração de ideias anteriormente fragmentadas.

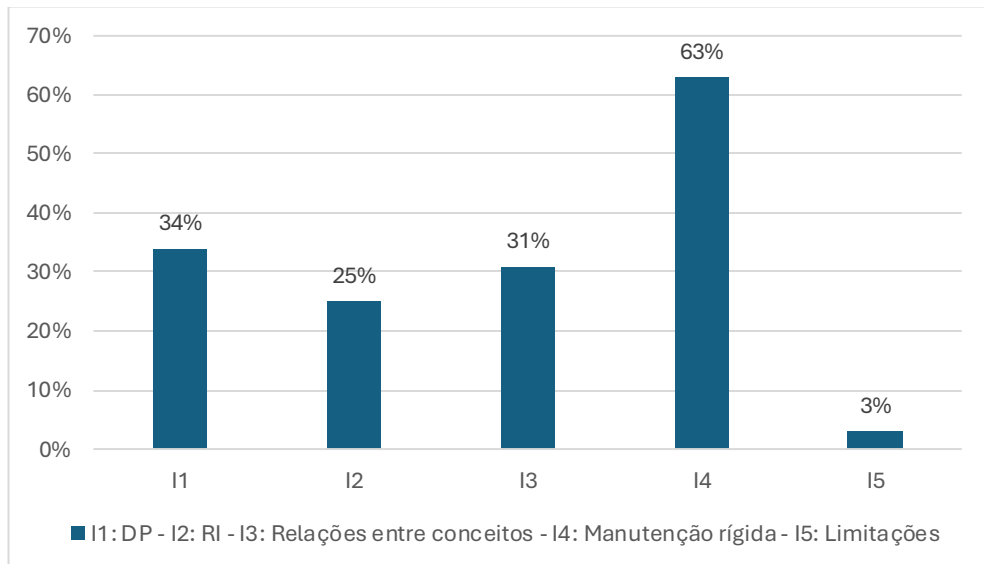
Em muitos casos, a noção de “colisão entre moléculas” parece ter sido incorporada apenas como um elemento adicional à explicação inicial, sem necessariamente substituir ou reorganizar concepções anteriores conflitantes. Isso sugere que a consolidação do conceito científico de reação química ocorre de maneira gradual, demandando sucessivas oportunidades de interação, mediação e reorganização dos significados ao longo do processo de aprendizagem.

Questão 2: A influência da temperatura na velocidade das reações

A segunda situação-problema buscou investigar a capacidade dos estudantes de aplicar os conceitos de Cinética Química a um fenômeno cotidiano relacionado à conservação e decomposição de alimentos. Diferentemente da Questão 1, de caráter mais introdutório e conceitual, essa situação exigiu a transposição do modelo cinético-molecular para um contexto prático, demandando maior articulação entre observações macroscópicas e explicações submicroscópicas acerca da influência da temperatura na velocidade das reações químicas.

O Gráfico 2 apresenta a frequência das categorias identificadas nas respostas dos estudantes.

Gráfico 2 - Frequência das categorias na Questão 2



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Nesse contexto, percebe-se que um dos maiores índices de Manutenção rígida ou ausência de modificação nas concepções prévias (I4 – 63%). Tal resultado indica que parcela significativa dos estudantes manteve explicações ancoradas em noções gerais de “conservação pelo frio” e “estrago pelo calor”, sem explicitação dos mecanismos cinético-moleculares envolvidos no processo. Em muitas respostas, observou-se a permanência de explicações

baseadas exclusivamente na experiência cotidiana, sem articulação com conceitos relacionados à agitação molecular, frequência de colisões ou velocidade das reações químicas.

Essa permanência pode ser observada nas respostas do aluno A9:

[Prever]: *“Só sei que não são só frutas, a maionese na embalagem “estraga” quando fica muito tempo no sol.”*

[Explicar]: *“A geladeira conserva o alimento porque tá em uma temperatura que o alimento possa se manter saudável e não estragar [...]”*

Percebe-se que a explicação permanece predominantemente no nível descritivo-fenomenológico, centrada apenas no efeito observável da conservação, sem incorporação do modelo de colisões ou da relação entre temperatura e velocidade das reações. Embora o estudante reconheça a influência da temperatura sobre o processo de deterioração, o conceito científico permanece pouco diferenciado, sustentado por um subsunçor associado à experiência cotidiana e não por uma reorganização conceitual mais elaborada. Esse resultado sugere que, diante de fenômenos familiares, os estudantes tendem a recorrer com maior intensidade a interpretações do senso comum, mesmo após a mediação com o simulador computacional.

Apesar da predominância do indicador I4, observa-se aumento relevante da Reconciliação Integradora (I2 - 25%), indicando que parte dos estudantes conseguiu reorganizar suas explicações à luz do modelo microscópico discutido na sequência didática. Nesse caso, não se trata apenas da incorporação de novos termos científicos, mas da integração entre conhecimentos prévios sobre decomposição de alimentos e explicações relacionadas à dinâmica molecular e à velocidade das reações.

Tal movimento pode ser identificado na resposta do aluno A21:

[Prever]: *“Processo de decomposição [...] no calor as células da fruta apodrecem mais rápido [...]”*

[Explicar]: *“Como mostrado no simulador vimos que quanto mais quente fica mais rápido as moléculas se chocam e acaba acelerando o processo de decomposição.”*

Observa-se, nessa resposta, um movimento de reorganização conceitual mais elaborado. O estudante mantém a ideia inicial de decomposição, porém passa a reinterpretá-la com base na agitação e nas colisões moleculares. O fenômeno cotidiano deixa de ser explicado apenas por observação empírica e passa a ser articulado ao modelo cinético-molecular. Essa integração

entre o nível macroscópico (apodrecimento do alimento) e o nível submicroscópico (movimento e choque das partículas) caracteriza Reconciliação Integradora, uma vez que há articulação entre conhecimentos anteriormente fragmentados em uma estrutura explicativa mais coerente.

Os percentuais referentes à Diferenciação Progressiva (I1 – 34%) também se mostraram significativos, indicando movimentos típicos de aprendizagem subordinada, nos quais o conceito de temperatura como fator de aceleração das reações foi incorporado aos conhecimentos prévios relacionados à conservação de alimentos. As evidências desse indicador foram identificadas principalmente quando os estudantes passaram a utilizar explicações mais específicas envolvendo agitação molecular, velocidade das partículas e frequência de colisões.

Esse movimento pode ser analisado a partir da resposta do aluno A12:

[Prever]: *“Ela absorve o calor e evapora toda a água [...] e assim ela se estraga.”*

[Explicar]: *“Por causa da temperatura que altera as moléculas, quando tá mais frio as moléculas diminuem a velocidade, elas não se chocam [...] já no calor as moléculas ficam mais agitadas e ficam se chocando, fazendo com que ela possa estragar mais rápido.”*

Nesse caso, observa-se ampliação significativa do subsunçor inicial, que deixa de estar centrado exclusivamente na evaporação da água e passa a incorporar elementos do modelo cinético-molecular, como velocidade das partículas, agitação molecular, colisões. O estudante passa a explicar o fenômeno não apenas pelo efeito visível da temperatura, mas pelos mecanismos microscópicos envolvidos no aumento da velocidade das reações de decomposição. Há, portanto, Diferenciação Progressiva, uma vez que o conceito inicial é especificado, enriquecido e reorganizado com base em novos significados científicos.

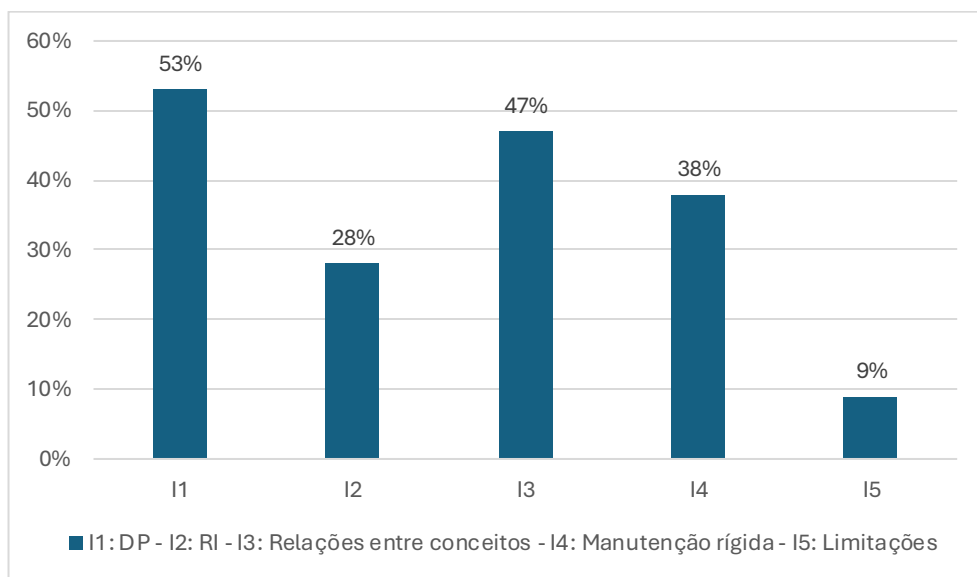
Em síntese, a Questão 2 evidenciou um movimento intermediário de reorganização conceitual. Embora a manutenção de concepções prévias ainda seja predominante, verifica-se ampliação do uso do modelo microscópico para explicar um fenômeno cotidiano relacionado à conservação dos alimentos. Os resultados sugerem que a contextualização favoreceu a mobilização do referencial cinético-molecular, especialmente no que se refere à influência da temperatura sobre a velocidade das reações químicas, ainda que sua integração plena à estrutura cognitiva não tenha ocorrido de maneira homogênea entre os estudantes.

Questão 3: A influência da pressão e da temperatura no cozimento dos alimentos

A terceira situação-problema buscou analisar a capacidade dos estudantes de articular simultaneamente dois fatores cinéticos (temperatura e a pressão) na explicação de um fenômeno cotidiano: o funcionamento da panela de pressão. Essa questão demandou maior complexidade cognitiva, uma vez que exigia a compreensão da interdependência entre variáveis e de seus efeitos sobre a velocidade das transformações químicas envolvidas no cozimento dos alimentos.

O Gráfico 3 apresenta a frequência dos indicadores identificados nas respostas dos estudantes.

Gráfico 3 - Frequência das categorias na Questão 3



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A configuração dos indicadores sugere predominância da Diferenciação Progressiva (I1 - 53%), acompanhada de percentual expressivo de Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis (I3 - 47%). Esses resultados indicam que parcela significativa dos estudantes conseguiu ampliar seus subsunçores iniciais, incorporando novos elementos explicativos relacionados ao modelo cinético-molecular, especialmente no que se refere à agitação das partículas, às colisões moleculares e à influência simultânea da temperatura e da pressão sobre o processo de cozimento.

As evidências de Diferenciação Progressiva foram identificadas principalmente quando os estudantes deixaram de utilizar explicações centradas apenas na ideia de “calor preso” e passaram a incorporar relações mais específicas envolvendo aumento da pressão interna, maior agitação molecular e aceleração das transformações químicas. Esse movimento pode ser observado na resposta do aluno A12:

[Prever]: *“Se pensarmos a panela está tampada então o calor que está lá dentro não sai [...]”*

[Explicar]: *“Quando a temperatura fica mais elevada as moléculas ficam mais agitadas e se chocam com muita rapidez [...] e por a panela estar tampada, aquele calor aquela pressão não têm pra onde sair; assim acumulando muita pressão dentro da panela e acelerando o cozimento.”*

Na etapa inicial, o estudante mobiliza um subsunçor centrado predominantemente na retenção do calor no interior da panela. Após a mediação com o simulador, sua explicação passa a incorporar elementos do modelo cinético-molecular, evidenciados pelas referências à agitação e às colisões entre moléculas. Ainda que permaneça a ideia inicial de “acúmulo de calor”, observa-se ampliação e refinamento conceitual significativo, uma vez que o fenômeno passa a ser explicado também em termos microscópicos. O conceito inicial é, portanto, enriquecido por novos significados relacionados à dinâmica molecular e à ação simultânea da temperatura e da pressão, caracterizando Diferenciação Progressiva (Moreira, 2012).

Além disso, a presença de Reconciliação Integradora (I2 - 28%) sugere que parte dos estudantes foi além da simples ampliação conceitual, promovendo integração entre diferentes variáveis e níveis explicativos do fenômeno.

Esse movimento pode ser observado na resposta do aluno A3:

[Prever]: *“Por conta da pressão e a tampa e o ar vai saindo.”*

[Explicar]: *“Por que a pressão interna aumenta e faz a temperatura da água subir além dos 100°C, com isso tem as reações químicas que amolecem o alimento.”*

Nesse caso, percebe-se reorganização mais profunda da estrutura cognitiva. O estudante integra a variável pressão ao aumento do ponto de ebulição da água e relaciona esse fenômeno às transformações químicas responsáveis pelo amolecimento dos alimentos. A explicação deixa de estar centrada apenas na ideia operacional de “panela fechada” e passa a articular relações causais entre pressão, temperatura e velocidade das transformações. Não se trata apenas da adição de um novo conceito, mas de uma reestruturação mais ampla da compreensão do fenômeno, característica da Reconciliação Integradora sob a perspectiva ausubeliana (Moreira, 2012).

Entretanto, apesar desses avanços, observa-se ainda um percentual considerável de Manutenção rígida ou ausência de modificação nas concepções prévias (I4 - 38%). Em diversas

respostas, permaneceu a ideia de que o alimento cozinha mais rápido simplesmente porque “o calor fica preso” ou porque “a panela é fechada”, sem explicitação dos mecanismos microscópicos envolvidos. Nesses casos, o conhecimento prévio cotidiano mostrou-se mais estável do que os novos significados apresentados durante a mediação didática.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, esse resultado sugere que, embora o simulador tenha favorecido movimentos de diferenciação conceitual em parte do grupo, a integração entre as variáveis pressão e temperatura ainda representa um desafio cognitivo mais complexo do que a compreensão isolada da influência da temperatura sobre a velocidade das reações. A articulação simultânea entre múltiplos fatores exige reorganização mais elaborada dos subsunçores e maior capacidade de integração hierárquica dos conceitos.

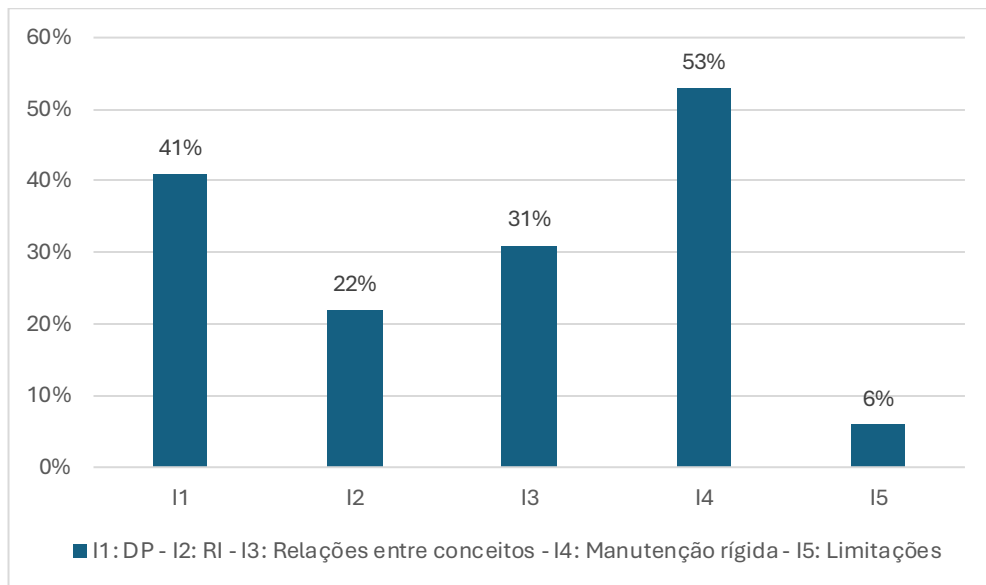
Além disso, conforme discutido por Johnstone (1991), a Química opera em diferentes níveis de representação e a dificuldade de transitar entre esses níveis constitui um dos principais obstáculos à aprendizagem química. No contexto desta questão, muitos estudantes permaneceram em explicações predominantemente macroscópicas, ancoradas na experiência cotidiana, sem consolidar plenamente a modelização em nível molecular.

Em síntese, a Questão 3 evidenciou avanço conceitual mais consistente quando comparada às questões anteriores, sobretudo no que se refere à incorporação do modelo cinético-molecular nas explicações dos estudantes. Todavia, a compreensão integrada entre pressão, temperatura e velocidade das transformações químicas ainda não se consolidou de maneira homogênea, indicando que a construção desse conhecimento ocorre de forma gradual e progressiva.

Questão 4: A influência da superfície de contato na velocidade das reações

A Questão 4 mobilizou um contexto cotidiano amplamente familiar aos estudantes, o ato de mastigar os alimentos, exigindo, contudo, a articulação implícita com um princípio central da Cinética Química: a influência do aumento da superfície de contato na velocidade das reações. O desafio presente nessa situação consistiu em transitar do nível macroscópico, relacionado à mastigação e à digestão, para uma explicação com potencial submicroscópico, associada à maior área exposta do alimento e à intensificação da atuação de enzimas e sucos digestivos quando este se encontra fragmentado.

Pode-se observar, no Gráfico 4, quais indicadores se mostraram mais frequentes nas respostas dos estudantes.

Gráfico 4 - Frequência das categorias na Questão 4

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise das respostas evidencia predominância de Manutenção rígida ou ausência de modificação nas concepções prévias (I4 - 53%), revelando que mais da metade dos estudantes manteve explicações semelhantes nas etapas “Prever” e “Explicar”, sem ampliação conceitual significativa. Em muitas respostas, as justificativas permaneceram centradas em ideias como “facilitar a digestão”, “evitar engasgos” ou “ajudar o metabolismo”, sugerindo que, embora o fenômeno seja familiar, a transposição para uma explicação fundamentada em princípios cinéticos não se consolidou para grande parte do grupo.

Essa permanência pode ser observada nas respostas do aluno A11:

[Prever]: *“Se engolimos um alimento inteiro podemos nos engasgar [...]”*

[Explicar]: *“Para ajudar o corpo a digerir melhor os alimentos[...]”*

Nesse caso, observa-se manutenção de uma explicação funcional e cotidiana, sem incorporação de elementos relacionados à superfície de contato ou à maior interação entre o alimento e os agentes químicos envolvidos na digestão. Os subsunçores ativados pelos estudantes encontram-se fortemente ancorados na experiência biológica cotidiana, o que, embora favoreça a compreensão prática do fenômeno, nem sempre contribui para a construção de explicações químicas mais elaboradas.

Isso sugere que conhecimentos prévios muito estabilizados no senso comum podem atuar como elementos restritivos quando impedem a diferenciação progressiva de significados

mais específicos e cientificamente estruturados (Moreira, 2011). A familiaridade com o processo digestivo mostrou-se suficiente para sustentar explicações funcionais, mas insuficiente para promover aprofundamento conceitual relacionado à Cinética Química.

Por outro lado, observa-se a presença significativa de Diferenciação Progressiva (I1 - 41%) e Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis (I3 - 31%), indicando que parte dos estudantes conseguiu avançar ao relacionar a redução do tamanho dos alimentos com maior rapidez na digestão. As evidências desses indicadores foram identificadas principalmente nas respostas em que surgiram referências à ação de enzimas, ácidos digestivos, dissolução mais rápida ou maior facilidade de atuação dos sucos gástricos sobre partículas menores.

Em respostas como as de A12, A16, A21, A23 e A32, observam-se explicações que, ainda que não formalizadas em linguagem submicroscópica rigorosa, demonstram aproximação ao princípio cinético segundo o qual o aumento da área disponível amplia a probabilidade de interação entre os agentes químicos envolvidos no processo digestivo.

Os avanços nessas categorias podem ser interpretados como indícios de Diferenciação Progressiva, uma vez que conceitos amplos como “digestão” passam a incorporar novos atributos explicativos relacionados à fragmentação do alimento e à maior eficiência das interações químicas (Moreira, 2012). Assim, os estudantes começam a estabelecer relações mais específicas entre o tamanho das partículas e a velocidade do processo digestivo, aproximando-se gradualmente do modelo científico escolar.

A Reconciliação Integradora (I2 - 22%), embora menos frequente, manifesta-se nos casos em que o estudante reorganiza explicitamente seu conhecimento ao integrar a fragmentação do alimento com a maior eficiência do processo digestivo decorrente ampliação da superfície de contato e da maior exposição às enzimas e aos sucos gástricos. Nesses casos, observa-se não apenas ampliação, mas articulação mais integrada entre o conhecimento cotidiano e elementos conceituais mais específicos, os princípios científicos discutidos ao longo da sequência didática.

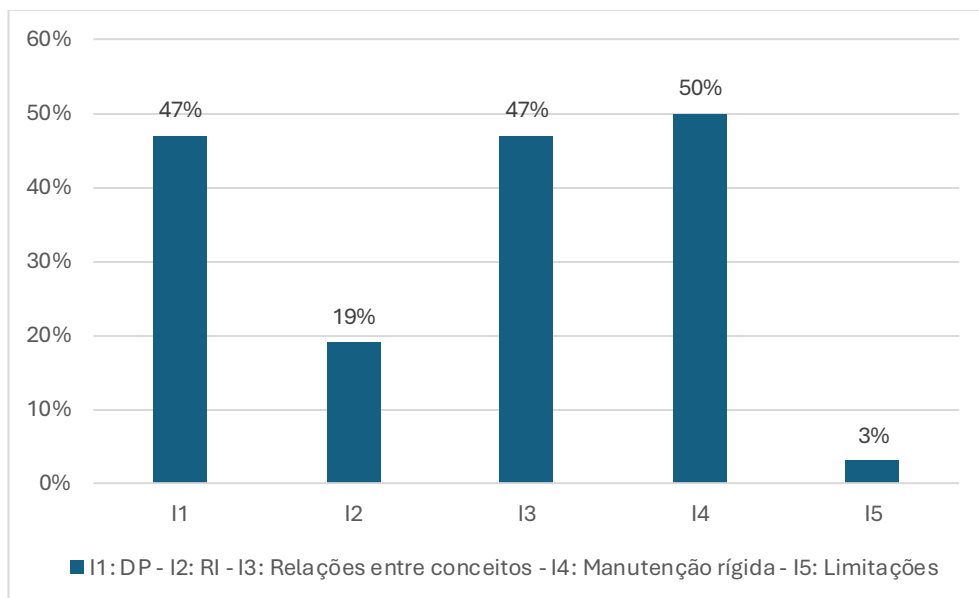
Em síntese, a Questão 4 revelou que o contexto cotidiano favorece a ativação dos conhecimentos prévios dos estudantes, mas não garante, por si só, a integração conceitual necessária para a compreensão da superfície de contato como variável determinante na velocidade das reações químicas.

Questão 5: A influência da superfície de contato no tempo de cozimento de alimentos

Se, na Questão 4, a variável superfície de contato foi analisada a partir do contexto biológico da digestão, na Questão 5 esse mesmo princípio é retomado em um cenário culinário, permitindo observar a estabilidade do conceito quando aplicado a uma situação distinta. Ao deslocar a discussão para o tempo de cozimento das batatas, a análise possibilita verificar se o conhecimento anteriormente mobilizado se mantém, se amplia ou se reorganiza diante de uma nova problemática, ainda que ancorada em experiência cotidiana semelhante.

A distribuição dos indicadores revela um quadro relativamente próximo ao da questão anterior, como mostrado no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Frequência das categorias na Questão 5



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A presença significativa de Diferenciação Progressiva (I1 – 47%) e Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis (I3 – 47%) indica que muitos estudantes conseguiram especificar conceitos e explicitar relações entre o tamanho dos pedaços, a ação do calor e o tempo de cozimento. Em diversas respostas, observou-se a incorporação de explicações relacionadas à maior exposição da batata ao calor, à penetração mais rápida da temperatura ou ao aumento da área de contato com a água quente.

Respostas como as de A5 e A30 evidenciam esse movimento:

[Prever]: *“Porque em vários pedaços é mais rápido para poder cozinhar.”*

[Explicar]: *“[...] com ela cortada seria diferente porque assim a água quente poderá cozinhar elas por partes mais pequenas facilitando o cozimento do alimento.”*

[Prever]: *“Por quê cortadas e no fogo alto com a temperatura ideal tende a amolecer mais rápido [...]”*

[Explicar]: *“Ao cortá-las aumenta-se a superfície de contato entre a batata e a água quente isso faz com que o calor penetre mais facilmente e acelere o processo de cozimento.”*

Nesses casos, observa-se avanço em relação às respostas iniciais, pois os estudantes deixam de apresentar apenas uma constatação empírica e passam a explicitar variáveis envolvidas no fenômeno. As evidências de Diferenciação Progressiva manifestam-se justamente quando conceitos cotidianos passam a incorporar maior precisão explicativa, aproximando-se do princípio cinético relacionado ao aumento da superfície de contato (Moreira, 2012). Além disso, percebe-se que parte dos estudantes começa a estabelecer relações causais mais organizadas entre fragmentação do alimento, maior exposição ao calor e aceleração do processo de cozimento, o que justifica a incidência do indicador I3.

O outro lado, a manutenção do indicador I4 em 50% das respostas indica que metade dos estudantes não apresentou modificações substanciais entre as etapas “Prever” e “Explicar”. Em casos como A6, A7, A18, A20 e A24, há repetição literal ou quase literal da resposta inicial, sem ampliação conceitual significativa. Ainda que a ideia central, “pedaços menores cozinham mais rápido”, esteja correta do ponto de vista fenomenológico, a ausência de aprofundamento sugere permanência em um nível predominantemente descritivo.

A Reconciliação Integradora (I2 – 19%) manifesta-se nas situações em que o estudante consegue integrar explicitamente diferentes níveis explicativos. Isso pode ser observado na resposta de A23:

[Explicar]: *“Enquanto cozinhamos uma batata inteira, as moléculas externas se agitam mais rápido e a parte de dentro é “protegida” [...] mas quando cortamos em partes, o processo fica mais fácil pois estariam expostos a temperatura.”*

Nesse caso, o estudante procura relacionar aspectos macroscópicos (cozinhar por fora e por dentro) com elementos submicroscópicos associados à agitação molecular e à exposição das partículas ao calor. Ainda que a explicação apresente simplificações, percebe-se tentativa de reorganização conceitual ao integrar o comportamento das moléculas ao fenômeno observado. Esse movimento evidencia avanço importante, pois demonstra aproximação entre o conceito de superfície de contato e a lógica do modelo cinético-molecular.

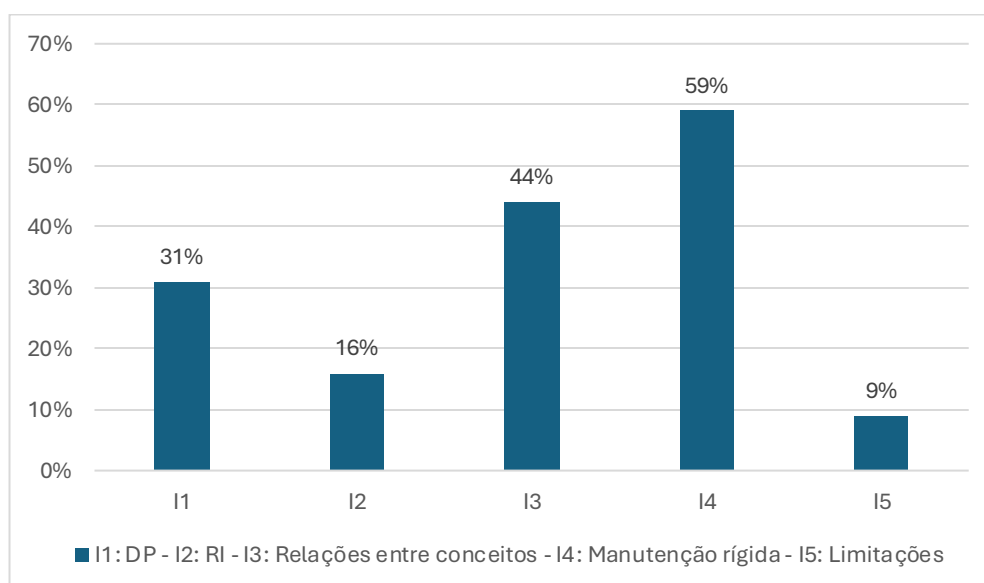
Comparativamente à Questão 4, o contexto do cozimento parece ter favorecido maior explicitação do papel do calor como variável relevante, possivelmente por se tratar de um fenômeno visualmente mais evidente e frequentemente associado à ideia de temperatura. Entretanto, assim como na situação da digestão, a familiaridade cotidiana não garantiu, para todos, consolidação conceitual mais profunda acerca da superfície de contato como fator determinante na velocidade dos processos.

Questão 6: A influência da superfície de contato na dissolução de comprimidos efervescentes

Nessa situação-problema foi introduzido explicitamente um sistema químico no qual ocorre reação entre o comprimido efervescente e a água, deslocando a discussão para um contexto mais diretamente associado à transformação química. Embora o fenômeno permaneça ancorado no cotidiano, a presença de um processo reacional torna o cenário conceitualmente mais próximo do discurso científico, ampliando o potencial de mobilização do conceito de superfície de contato como variável cinética.

A distribuição dos indicadores (Gráfico 6) evidencia um quadro marcado simultaneamente por avanços conceituais e permanências estruturais nas explicações dos estudantes.

Gráfico 6 - Frequência das categorias na Questão 6



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Observa-se predominância de Manutenção rígida ou ausência de modificação (I4 - 59%), indicando que mais da metade dos estudantes manteve essencialmente a mesma explicação nas etapas “Prever” e “Explicar”. Esse resultado sugere que a ideia de que "o comprimido triturado dissolve mais rápido" já se encontrava relativamente estabilizada como regularidade empírica, porém nem sempre acompanhada de evolução no mecanismo explicativo.

Em casos como A3, A4, A6, A18, A22, A27 e A29, verifica-se repetição literal ou quase literal das respostas iniciais, mesmo quando a justificativa já incluía a noção de “maior superfície de contato”. Embora conceitualmente adequada, a ausência de reformulação ou ampliação explicativa indica estabilidade discursiva sem evidência clara de reorganização cognitiva no momento da explicação, caracterizando manutenção rígida no âmbito da análise adotada.

Esse cenário ajuda a compreender a coexistência entre percentual expressivo de Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis (I3 - 44%) e elevado índice de manutenção rígida. Em muitas respostas, a relação entre tamanho das partículas, contato com a água e rapidez da dissolução já estava presente na etapa “Prever”, mas não foi aprofundada posteriormente. Assim, observa-se reconhecimento da variável relevante, porém com baixo nível de refinamento conceitual entre as etapas do POE.

Por outro lado, algumas produções evidenciam movimentos mais elaborados de reorganização conceitual. O estudante A23, por exemplo, estabelece analogia com a situação anteriormente discutida sobre o cozimento da batata e introduz explicitamente a noção de reagente:

[Prever]: *“O comprimido inteiro tem processo de dissolver, assim como a batata inteira, começa com a água externa até chegar na parte interna [...]”*

[Explicar]: *“O triturado, como a questão 5, o reagente é a água, e o comprimido que está triturado, está mais exposto ao reagente, fazendo ele dissolver rápido.”*

Nesse caso, observa-se tentativa de integrar diferentes situações investigadas sob um mesmo princípio explicativo: a maior exposição ao reagente favorece a rapidez do processo. À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, identificam-se indícios de Reconciliação Integradora, uma vez que o estudante articula conhecimentos construídos em contextos distintos a partir de um eixo conceitual comum (Moreira, 2012). Ainda que de forma parcial, percebe-se reorganização hierárquica do conhecimento.

Mesmo assim, a maioria das respostas permaneceu no nível macroscópico, sem explicitação consistente do modelo submicroscópico relacionado à maior frequência de colisões ou ao aumento da área disponível para interação química. Em muitos casos, o termo “superfície de contato” aparece como expressão memorizada ou rótulo explicativo, sem articulação efetiva com um modelo particulado da matéria.

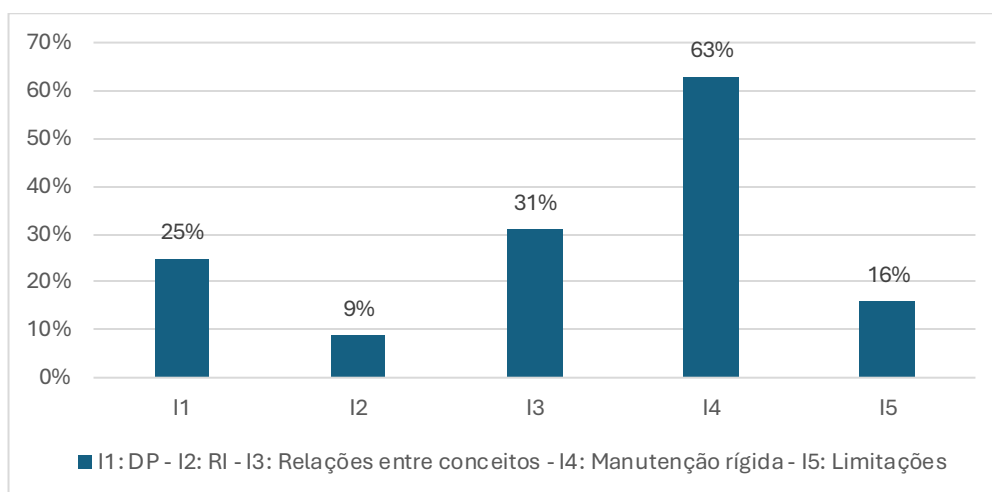
Essa dificuldade reforça o desafio apontado por Johnstone (1991) acerca da transição entre os diferentes níveis de representação da Química. Os estudantes reconhecem a regularidade do fenômeno, mas nem sempre conseguem integrá-la a uma explicação submicroscópica mais elaborada.

Comparativamente às Questões 4 e 5, o contexto do comprimido efervescente favoreceu maior explicitação do termo “superfície de contato”, possivelmente por se tratar de exemplo recorrente no ensino de Cinética Química. Ainda assim, a familiaridade com o fenômeno não garantiu, para a maioria dos estudantes, avanço explicativo substancial entre as etapas do POE.

Questão 7: A influência das enzimas na velocidade da digestão

Essa questão introduz explicitamente o conceito de catálise, exigindo dos estudantes a mobilização de um princípio cinético menos perceptível no nível macroscópico: a redução da energia de ativação por ação enzimática. Embora o contexto permaneça cotidiano, a digestão, o nível de abstração requerido é significativamente maior, pois a explicação adequada envolve processos de natureza submicroscópica e energética.

A distribuição dos indicadores (Gráfico 7) revela predominância de Manutenção rígida ou ausência de modificação (I4 – 63%), acompanhada de percentual expressivo de ausência ou limitação de resposta (I5 – 16%). Esses dados sugerem que o conceito de catálise enzimática apresentou maior complexidade cognitiva quando comparado às variáveis trabalhadas nas questões anteriores.

Gráfico 7 - Frequência das categorias na Questão 7

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Observa-se, nessa questão que parte significativa das respostas permaneceu no nível macroscópico ou funcional, associando enzimas a ideias como “ajudar na digestão”, “quebrar alimentos” ou “facilitar a absorção”, sem explicitação do mecanismo químico envolvido. A resposta do estudante A3 ilustra esse movimento:

[Prever]: *“As enzimas tornam a digestão mais rápida que aceleram as reações químicas no estômago.”*

[Explicar]: *Mesma resposta da etapa prever.*

Embora a explicação apresente um elemento cientificamente aceitável, a aceleração das reações, não há ampliação ou aprofundamento entre as etapas do POE. O termo “acelerar” opera como expressão descritiva, sem detalhamento do mecanismo relacionado à diminuição da energia de ativação, caracterizando manutenção rígida.

Em outros casos, observa-se avanço conceitual mais consistente, como na resposta de A30:

[Prever]: *“Elas podem servir como proteína para o nosso corpo, já que leva para o corpo todo [...]”*

[Explicar]: *“As enzimas aumentam a velocidade da digestão, pois funcionam como catalisadores biológicos, ou seja, diminuem a energia necessária para que as reações ocorram.”*

Nesse exemplo, há incorporação explícita do papel catalítico e da variável energética envolvida no processo. O estudante deixa de compreender as enzimas apenas como “substâncias presentes no corpo” e passa a explicá-las como agentes que reduzem a energia necessária para a ocorrência das reações químicas. Esse deslocamento evidencia Diferenciação Progressiva (I1 – 25%), pois o conceito inicial é enriquecido por novos significados científicos relacionados à catálise.

Também foram identificadas respostas que evidenciam confusões conceituais, especialmente na associação entre enzimas e ácido estomacal (A2, A9, A12), sugerindo dificuldades na distinção entre diferentes agentes envolvidos no processo digestivo. Essas respostas revelam fragilidades na organização conceitual e indicam que alguns significados ainda se encontram pouco diferenciados na estrutura cognitiva dos estudantes.

A Reconciliação Integradora (I2 – 9%) apresentou baixa incidência, o que é coerente com o grau de abstração exigido pela questão. Diferentemente da variável superfície de contato, visualmente perceptível em situações cotidianas, a ação catalítica das enzimas não possui correspondência direta e facilmente observável, o que pode dificultar reorganizações conceituais mais abrangentes.

Observa-se, portanto, redução nos índices de I1 e I3, acompanhada de aumento de I4 e I5 em relação às questões anteriores. Esse movimento sugere que a variável “enzima como catalisador” ainda não se encontra suficientemente estabilizada na estrutura cognitiva da maioria dos estudantes. A aprendizagem parece ocorrer com maior facilidade quando associada a fatores concretos e perceptíveis, como temperatura, tamanho das partículas, ou intensidade da chama, do que quando vinculada a mecanismos energéticos e moleculares mais abstratos.

Em síntese, a Questão 7 evidencia que, embora os estudantes reconheçam funcionalmente que as enzimas “aceleram” a digestão, poucos conseguem explicitar o mecanismo subjacente de redução da energia de ativação. O conceito de catálise, nesse contexto, opera predominantemente em nível descritivo, ainda não plenamente integrado a um modelo explicativo de natureza submicroscópica.

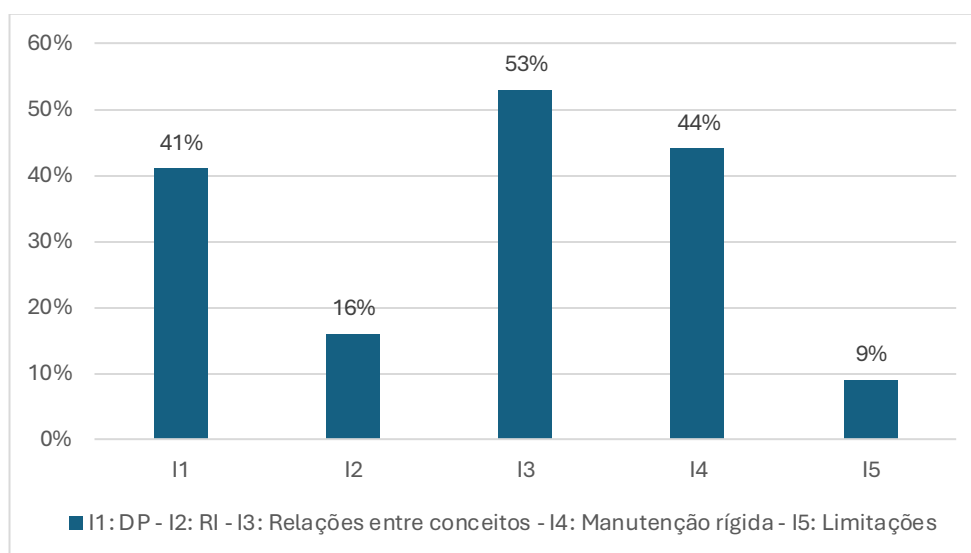
Questão 8: A influência da concentração na velocidade da reação

A Questão 8 introduz explicitamente a variável concentração de reagente, ao problematizar o papel do oxigênio na combustão do carvão. Diferentemente da questão anterior, que exigia mobilização de um modelo energético abstrato, aqui o fenômeno apresenta forte correspondência macroscópica: o aumento da chama ao ventilar o carvão. Ainda assim, a

compreensão adequada demanda articulação entre diferentes níveis explicativos, especialmente no que se refere à maior frequência de colisões entre partículas reagentes.

A distribuição dos indicadores (Gráfico 8) revela um quadro mais equilibrado quando comparado à Questão 7. Observa-se percentual expressivo de Estabelecimento de relações entre conceitos/variáveis (I3 – 53%) e Diferenciação Progressiva (I1 – 41%), acompanhado de redução relativa da Manutenção rígida (I4 – 44%). Esses dados sugerem que a variável relacionada ao aumento da quantidade de oxigênio foi mais prontamente articulada à ideia de aceleração da reação.

Gráfico 8 - Frequência das categorias na Questão 8



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Grande parte das respostas reconheceu que o oxigênio é essencial para a combustão e que seu aumento intensifica o fogo. Em respostas como as de A2, A26 e A30, observa-se explicitação da relação entre oxigênio e combustão, como no caso de A30:

[Prever]: “Ela influencia por que tende a ser melhor para que o fogo se propague [...]”

[Explicar]: “Faz o fogo queimar mais rapidamente pois o oxigênio é um reagente essencial na combustão.”

Nesses casos, percebe-se o reconhecimento do oxigênio como reagente necessário ao processo de combustão, indicando estabelecimento de relações entre concentração de reagente e velocidade da reação. Ainda que o modelo particulado nem sempre seja explicitado, observa-se avanço em relação à simples descrição fenomenológica.

Algumas respostas apresentam indícios mais consistentes de articulação submicroscópica, como no caso de A19:

[Explicar]: *“O oxigênio influencia no aumento da temperatura [...] agitando as moléculas [...] fazendo com que elas se choquem mais rápido.”*

Aqui, observa-se tentativa de explicação baseada em agitação molecular e colisões entre partículas, aproximando-se do modelo cinético das reações químicas. Tais ocorrências justificam os percentuais de Diferenciação Progressiva (I1 – 41%) e Reconciliação Integradora (I2 – 16%), ainda que esta última se manifeste de forma mais restrita.

Entretanto, parcela significativa das respostas permaneceu em nível predominantemente funcional ou metafórico, como “o fogo se alimenta de oxigênio” ou “o oxigênio serve como combustível”. Embora tais formulações revelem compreensão intuitiva do fenômeno, nem sempre são acompanhadas de explicitação do mecanismo químico envolvido, caracterizando manutenção rígida (I4 – 44%).

Também foram identificadas respostas com confusões conceituais envolvendo pressão de ar, presença de água ou relações não diretamente associadas ao processo de combustão, evidenciando fragilidades na organização conceitual de parte dos estudantes.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, observa-se que o conceito de concentração de reagente apresenta maior potencial de ancoragem em subsunçores previamente estabilizados, como a ideia cotidiana de que “o fogo precisa de ar”. Diferentemente da catálise enzimática, trata-se de um fenômeno perceptível sensorialmente, o que pode favorecer movimentos de diferenciação progressiva. Contudo, como alerta Johnstone (1991), a permanência no nível macroscópico não garante a integração com o nível submicroscópico. Em muitas respostas, o oxigênio é reconhecido como necessário à combustão, mas não necessariamente compreendido como espécie química cuja maior concentração aumenta a frequência de colisões efetivas com o carvão.

Comparativamente às questões anteriores, a Questão 8 evidencia desempenho conceitual mais consistente do grupo, especialmente no estabelecimento de relações entre variável cinética e efeito observado. Também se observa redução no índice de ausência de resposta (I5 – 9%), sugerindo maior familiaridade dos estudantes com esse fenômeno cotidiano e maior facilidade em mobilizar relações explicativas relacionadas à velocidade das reações.

5.3.3 Concepções alternativas e limites de aprendizagem

Apesar dos avanços evidenciados nos movimentos de Diferenciação Progressiva e, em menor escala, de Reconciliação Integradora, a análise das produções e das interações ao longo da sequência didática, especificamente nas etapas “Prever” e “Explicar”, revelou a persistência de algumas concepções alternativas e limites na organização conceitual dos estudantes. Tais limites não configuram ausência de aprendizagem, mas evidenciam zonas de não integração conceitual que demandam análise cuidadosa.

Em alguns grupos, observou-se a predominância da enumeração de fatores que influenciam a velocidade das reações, sem explicitação das relações causais subjacentes. Esse comportamento foi particularmente recorrente nas questões relacionadas à superfície de contato e à combustão, nas quais muitos estudantes identificavam corretamente a variável cinética envolvida, porém sem explicitar o mecanismo microscópico responsável pela aceleração das reações.

Essa tendência sugere uma aprendizagem ainda situada em nível predominantemente descritivo, marcada por diferenciação parcial dos conceitos, mas sem articulação explicativa mais profunda. Conforme discute Moreira (2011; 2012), a Aprendizagem Significativa ocorre de maneira linear ou homogênea, envolve avanços graduais que podem coexistir com conhecimentos prévios parcialmente reformulados. Nesse sentido, a permanência de explicações centradas exclusivamente no nível macroscópico indica a ocorrência de Diferenciação Progressiva sem correspondente Reconciliação Integradora.

Outro limite identificado refere-se à dificuldade de articulação entre os níveis representacionais da Química. A questão envolvendo enzimas evidenciou essa complexidade: muitos estudantes utilizaram o termo “catalisar”, presente no enunciado, mas não conseguiram relacioná-lo à redução da energia de ativação ou ao aumento de colisões eficazes. Em alguns casos, menções a partículas ou colisões apareceram de forma desconectada de modelos explicativos consistentes. Embora os simuladores favorecessem a visualização dinâmica das partículas, a transição entre observação visual e modelização conceitual não ocorreu de maneira homogênea entre os participantes. Tal fragmentação confirma a complexidade apontada por Johnstone (1991), segundo o qual a integração entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico constitui um dos principais desafios no ensino de Química.

A literatura sobre concepções alternativas reforça que ideias intuitivas acerca dos fenômenos químicos tendem a persistir mesmo após intervenções didáticas. Estudos como os de Treagust, Nieswandt e Duit (2000) indicam que tais concepções não são simplesmente

substituídas, mas podem coexistir com explicações científicas emergentes. De modo semelhante, Tümay (2016) destaca que a mudança conceitual envolve processos graduais de reconstrução e reorganização do conhecimento, e não rupturas abruptas.

Os resultados também evidenciam que a utilização de simuladores no ensino de Química, embora proporcione um ambiente dinâmico para a experimentação virtual, não garante, por si só, a apropriação do conhecimento científico. A transição da mera interação com a interface para a compreensão conceitual demanda processos de reflexão, análise e reformulação das próprias ideias a partir das observações realizadas no ambiente digital.

Nesse sentido, Valente (2014) destaca que o uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) favorece ciclos de descrição, execução, reflexão e depuração, nos quais o estudante confronta suas hipóteses com os resultados produzidos pela ferramenta, reorganizando progressivamente seus conhecimentos. Assim, o potencial pedagógico dos simuladores não reside apenas na visualização dos fenômenos, mas na possibilidade de promover interações cognitivas capazes de levar o estudante a revisar, testar e reconstruir seus modelos explicativos.

Para que se configure Aprendizagem Significativa, é necessário que a experiência no simulador seja ancorada em subsunçores relevantes presentes na estrutura cognitiva do estudante, conforme proposto por Ausubel (2003) e discutido por Moreira (2011). Desse modo, a eficácia do recurso tecnológico reside menos na ferramenta em si e mais na qualidade das interações cognitivas que ela possibilita.

Nessa perspectiva, os limites identificados nesta pesquisa evidenciam que a reorganização conceitual ocorreu em diferentes níveis de profundidade entre os estudantes. A coexistência de avanços explicativos e de explicações ainda fragmentadas revela um processo em desenvolvimento, coerente com o caráter progressivo da Aprendizagem Significativa.

5.4 SISTEMATIZAÇÃO FINAL: ANÁLISE DOS CARTAZES PRODUZIDOS

A produção dos cartazes constituiu a etapa de síntese da sequência didática, possibilitando aos estudantes externalizar, reorganizar e consolidar os conceitos trabalhados ao longo das atividades investigativas fundamentadas no método POE. Essa etapa foi concebida como momento de sistematização conceitual, no qual os grupos, por meio da linguagem escrita e das representações visuais, expressaram sua compreensão acerca dos fatores que influenciam a velocidade das reações químicas.

Com o intuito de sistematizar as evidências de Aprendizagem Significativa na etapa de socialização, as produções foram submetidas a uma análise categorial orientada pelos dois movimentos cognitivos fundamentais da Teoria da Aprendizagem Significativa: a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integradora, conforme proposto por David Ausubel.

O Quadro 20 apresenta as categorias analíticas definidas a priori, os respectivos indicadores observáveis e os grupos que evidenciaram cada movimento cognitivo. Considerou-se evidenciado determinado movimento sempre que o cartaz apresentasse indícios claros de sua ocorrência, mesmo que expressos na linguagem própria dos estudantes, desde que a produção, analisada em sua totalidade, incluindo descrições e representações, revelasse reorganização conceitual compatível com o referencial adotado. Assim, a análise não se restringiu à presença isolada de termos técnicos ou figuras ilustrativas, mas contemplou o conjunto da produção textual e visual como manifestação da estrutura cognitiva em reorganização.

O quadro analítico permite, portanto, observar quais movimentos cognitivos foram mobilizados pelos diferentes grupos, oferecendo evidências do nível de organização conceitual alcançado a partir da sequência didática e do uso do simulador como mediador do processo de construção do conhecimento.

Quadro 20 - Sistematização das evidências de Aprendizagem Significativa nos cartazes

Categoria analítica (Movimento cognitivo)	Processo	Indicadores Observáveis (marco mínimo)	Grupos que evidenciaram o movimento
1. Organização hierárquica do conceito de velocidade de reação	(DP)	Apresentação do conceito geral de velocidade seguida da subdivisão em fatores cinéticos	G1, G2, G3, G4, G5, G6
2. Especificação funcional dos fatores cinéticos	(DP)	Explicação de como os fator (temperatura, concentração, superfície, catalisador) atua na modificação da velocidade	G2, G4, G5, G6
3. Transição do nível macroscópico para o submicroscópico	(DP)	Referência a partículas, colisões ou energia para explicar o fenômeno	G2, G5, G6
4. Integração dos fatores sob um modelo explicativo comum	(RI)	Relação entre dois ou mais fatores explicados pelo mesmo princípio	G2, G5, G6
5. Articulação entre energia de ativação e catalisador	(RI)	Indicação de que o catalisador altera a energia necessária da reação	G4, G6
6. Integração entre níveis representacionais	(RI)	Conexão entre fenômeno, modelo particulado e representação simbólica ou gráfica	G6

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Nota: DP – Diferenciação progressiva; RI – Reconciliação integradora

A análise revelou ocorrência diferenciada dos processos de Diferenciação Progressiva (DP) e Reconciliação Integradora (RI). Observa-se que os indicadores relacionados à DP foram mais amplamente evidenciados pelos grupos, enquanto os movimentos de RI apareceram de forma mais restrita e concentrada.

Todos os grupos (G1 a G6) apresentaram organização hierárquica do conceito de velocidade de reação, evidenciando a compreensão do conceito geral seguida da subdivisão em fatores cinéticos. Esse resultado indica que os estudantes foram capazes de organizar o conceito central de maneira hierarquicamente diferenciada, característica fundamental da Diferenciação Progressiva segundo David Ausubel (Moreira, 2012).

No contexto do Ensino de Química, tal organização hierárquica é particularmente relevante, pois a aprendizagem de conceitos científicos exige a construção de redes conceituais articuladas, e não a memorização isolada de definições. Conforme argumenta Johnstone (1991), a compreensão em Química envolve o trânsito entre diferentes formas de representação, o que pressupõe uma base conceitual previamente diferenciada e estruturada.

A especificação funcional dos fatores cinéticos, identificada nos grupos G2, G4, G5 e G6, indica avanço em relação à simples enumeração dos fatores. Ao explicarem como temperatura, concentração, superfície de contato ou catalisador influenciam a velocidade da reação, os estudantes mobilizaram relações causais que extrapolam a descrição fenomenológica. Esse tipo de explicação evidencia a incorporação de elementos do nível submicroscópico para fundamentar o fenômeno observado, aproximando-se da articulação entre níveis representacionais.

A transição do nível macroscópico para o submicroscópico, evidenciada nos grupos G2, G5 e G6, representa um avanço ainda mais significativo dentro da Diferenciação Progressiva. Ao recorrerem a explicações envolvendo partículas, colisões e energia, esses grupos demonstraram capacidade de relacionar fenômeno observável e modelo teórico, ampliando o grau de abstração explicativa.

De modo geral, os dados indicam que a sequência didática favoreceu predominantemente movimentos de detalhamento e aprofundamento conceitual, coerentes com a lógica da Diferenciação Progressiva.

No que se refere à Reconciliação Integradora, os movimentos mostraram-se menos frequentes, porém mais complexos. A integração dos fatores sob o modelo da Teoria das Colisões, identificada nos grupos G2, G5 e G6, evidencia a capacidade de relacionar diferentes variáveis a um mesmo princípio teórico unificador. Esse processo de integração aproxima-se

do que Mortimer (2000) descreve como reorganização discursiva e conceitual, no qual percepções inicialmente fragmentadas passam a compor um sistema explicativo mais coerente.

A articulação entre energia de ativação e catalisador, observada nos grupos G4 e G6, demonstra um nível ainda mais elaborado de integração conceitual, pois implica compreender que o catalisador atua na modificação da energia necessária para que a reação ocorra, exigindo coordenação entre modelo particulado e representação gráfica do perfil energético.

Por fim, apenas o grupo G6 evidenciou integração entre os níveis fenomenológico, particulado e simbólico/gráfico, configurando o movimento mais sofisticado identificado na análise. O fato de tal integração ter sido observada em apenas um grupo reforça sua natureza mais complexa e estrutural.

Os resultados revelam, portanto, um padrão coerente com a literatura da Aprendizagem Significativa: movimentos de Diferenciação Progressiva tendem a ocorrer com maior frequência, por envolverem ampliação e especificação de conceitos, enquanto a Reconciliação Integradora, por demandar integração estrutural entre ideias previamente diferenciadas, manifesta-se de forma mais restrita e cognitivamente exigente (Moreira, 2012; Sousa; Silvano; Lima, 2018).

A predominância de DP, acompanhada da ocorrência pontual de RI em alguns grupos, sugere que a sequência didática promoveu níveis distintos de aprofundamento conceitual. Parte dos estudantes avançou para formas mais integradas de compreensão, enquanto outros consolidaram principalmente a organização hierárquica e funcional dos conceitos. Assim, os cartazes evidenciam não apenas a aquisição de conteúdos, mas diferentes estágios de estruturação do pensamento químico, reforçando o potencial do método POE articulado ao uso de simuladores como estratégia promotora de Aprendizagem Significativa no ensino de Cinética Química.

6. PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional constitui desdobramento direto do percurso investigativo e da intervenção pedagógica desenvolvida nesta pesquisa. A sequência didática apresentada na Seção 4.3, estruturada segundo a metodologia POE e mediada pelo uso do simulador PHeT, não se configurou apenas como instrumento de coleta de dados, mas como experiência formativa sistematizada com potencial de aplicação em diferentes contextos escolares.

Nesse sentido, a elaboração do produto responde à natureza aplicada do Mestrado Profissional, ao transformar resultados de pesquisa em recurso pedagógico voltado à prática docente. A análise das produções dos estudantes, das interações em sala e dos movimentos de Aprendizagem Significativa evidenciados ao longo da intervenção subsidiou a organização de um guia instrucional direcionado ao ensino de Cinética Química no Ensino Médio.

O produto, intitulado “*Explorando a Cinética Química: o potencial dos simuladores computacionais pela metodologia POE*” caracteriza-se como Produção Técnica-Tecnológica do tipo material didático-instrucional. Sua finalidade é apoiar professores de Química no planejamento e na condução de aulas investigativas mediadas por tecnologias digitais acessíveis, sistematizando a sequência didática desenvolvida na pesquisa e incorporando orientações pedagógicas, estratégias de mediação docente, instrumentos de acompanhamento da aprendizagem e possibilidades de adaptação curricular.

Ancorado na Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel e na perspectiva de sequências didáticas de Antoni Zabala, o guia busca favorecer a mobilização de conhecimentos prévios, a investigação orientada e a reconstrução conceitual dos estudantes. Dessa forma, o produto não representa apenas a descrição de uma prática, mas a sistematização de um percurso pedagógico teoricamente fundamentado e validado em contexto real de sala de aula.

O Produto Educacional tem como objetivo geral subsidiar o ensino de Cinética Química por meio de estratégias didáticas investigativas, ancoradas em fundamentos teóricos consistentes e apoiadas por recursos tecnológicos acessíveis. Como objetivos específicos, busca: apoiar o professor no planejamento e na aplicação de aulas de Cinética Química com base em metodologias ativas; promover o uso pedagógico de simuladores computacionais; valorizar conhecimentos prévios e a construção ativa de significados; e contribuir para o desenvolvimento profissional docente por meio de uma proposta replicável e adaptável.

O produto educacional apresenta caráter inovador ao integrar, de forma sistematizada, a metodologia POE, o uso de simuladores computacionais e os pressupostos da Teoria da

Aprendizagem Significativa. Diferentemente de propostas que utilizam tecnologias digitais como recurso complementar, o guia organiza o simulador como elemento estruturante da sequência didática, articulando diagnóstico de conhecimentos prévios, investigação e reconstrução conceitual.

Sua principal contribuição reside na tradução do referencial teórico em orientações pedagógicas operacionais, explicitando o papel da mediação docente no favorecimento de movimentos de Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora. Assim, o material amplia o potencial formativo da proposta e aproxima produção acadêmica e prática escolar.

O uso do simulador PHeT é compreendido como ferramenta mediadora de processos investigativos, favorecendo a visualização de fenômenos e a articulação entre níveis representacionais da Química. A análise dos resultados evidenciou que o guia favorece a explicitação de concepções alternativas, a organização hierárquica dos conceitos, a integração entre fatores cinéticos sob modelos explicativos e o desenvolvimento de posturas investigativas pelos estudantes.

O produto apresenta elevado potencial de aplicabilidade por utilizar recursos digitais gratuitos, linguagem acessível e organização modular. Sua implementação pode ocorrer em diferentes realidades escolares, incluindo contextos com infraestrutura limitada, permitindo uso coletivo, individual ou demonstrativo do simulador. Além disso, pode ser utilizado em laboratório de informática ou dispositivos móveis. Essa flexibilidade amplia sua possibilidade de replicação e adaptação curricular.

O Produto Educacional teve sua validação pedagógica de forma processual, ao longo da própria intervenção didática, na medida em que a sequência estruturada no guia foi implementada em contexto real de sala de aula e analisada à luz dos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. As evidências provenientes das produções dos estudantes, das interações discursivas e dos movimentos cognitivos identificados indicam que a proposta favoreceu a reorganização conceitual em diferentes níveis de profundidade. Assim, a validação decorre da articulação entre fundamentação teórica, aplicação prática e análise dos resultados, caracterizando o produto como recurso pedagogicamente consistente e potencialmente replicável.

Apesar das potencialidades evidenciadas, algumas limitações devem ser consideradas. A implementação do guia ocorreu em um contexto específico, envolvendo uma turma e condições pedagógicas particulares, o que implica cautela quanto à generalização direta dos resultados. Observou-se ainda que a utilização do simulador amplia possibilidades de visualização e experimentação, mas a integração conceitual depende da intencionalidade das

mediações pedagógicas e das interações discursivas promovidas em sala. Tais aspectos não configuram fragilidade da proposta, mas indicam que o produto deve ser compreendido como ferramenta de apoio ao trabalho docente, cuja efetividade se constrói na dinâmica da prática educativa.

Como desdobramento, o produto apresenta perspectivas de ampliação e aprofundamento. Entre elas, destacam-se a aplicação em diferentes contextos escolares, incluindo turmas de distintas séries do Ensino Médio, a adaptação para outros conteúdos da Química que envolvem modelagem submicroscópica e o desenvolvimento de versões complementares do guia voltadas à formação docente continuada. Também se vislumbra a incorporação de outros recursos digitais e estratégias avaliativas que permitam acompanhar longitudinalmente a evolução conceitual dos estudantes. Dessa forma, o produto permanece aberto a revisões e reconfigurações, coerente com a natureza dinâmica das propostas investigativas e com o entendimento de que materiais didáticos constituem artefatos em permanente aprimoramento.

Desse modo, o Produto Educacional constitui síntese metodológica da pesquisa realizada, materializando, em forma de guia didático, as evidências de reorganização conceitual observadas ao longo da intervenção e reafirmando o potencial do ensino investigativo mediado por tecnologias digitais para a promoção da Aprendizagem Significativa em Cinética Química.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa investigou de que modo a integração de metodologias ativas, especificamente a abordagem Prever - Observar - Explicar (POE), ao uso de simuladores interativos da plataforma PhET pode favorecer a aprendizagem significativa de conceitos de Cinética Química no Ensino Médio. Fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e desenvolvida no contexto de uma pesquisa-ação, a investigação articulou intervenção pedagógica, análise das produções dos estudantes e elaboração de um produto voltado à prática docente.

Os resultados evidenciaram que a sequência didática investigativa favoreceu a mobilização dos conhecimentos prévios e a ampliação progressiva dos conceitos, com predominância de movimentos de Diferenciação Progressiva, expressos na organização hierárquica dos fatores cinéticos e na especificação funcional de seus efeitos. A Reconciliação Integradora emergiu de forma mais localizada, especialmente quando os estudantes articularam múltiplos fatores sob princípios explicativos comuns e integraram diferentes níveis representacionais da Química. A persistência de concepções alternativas indicou que a reorganização conceitual ocorreu de modo gradual, confirmando o caráter processual da Aprendizagem Significativa.

Nesse contexto, o simulador assumiu função mediadora de processos investigativos, possibilitando a visualização de fenômenos submicroscópicos, o confronto de hipóteses e a elaboração de explicações mais fundamentadas. A metodologia POE, por sua vez, estruturou o percurso cognitivo dos estudantes ao promover ciclos de previsão, experimentação virtual e reconstrução conceitual, contribuindo para o aprimoramento das argumentações e para maior articulação entre observação e explicação científica.

Como desdobramento aplicado, a elaboração do Produto Educacional materializou a sistematização dessa experiência em um guia didático replicável, evidenciando o potencial da articulação entre teoria, intervenção e prática docente. O material traduz princípios da Aprendizagem Significativa em orientações pedagógicas concretas, contribuindo para reduzir a distância entre produção acadêmica e sala de aula e reforçando o papel formativo do mestrado profissional.

As contribuições da pesquisa situam-se em diferentes dimensões. No plano teórico, o estudo reforça a compreensão da Diferenciação Progressiva e da Reconciliação Integradora como movimentos observáveis nas produções discentes, ampliando sua operacionalização analítica no ensino de Química. No plano metodológico, apresenta um modelo investigativo

que integra diagnóstico de conhecimentos prévios, experimentação virtual e sistematização conceitual, oferecendo referenciais para investigações futuras em ambientes mediados por tecnologias. No âmbito da prática docente, a sistematização da sequência didática em forma de produto educacional favorece a implementação de estratégias investigativas no ensino de conteúdos abstratos e contribui para o desenvolvimento profissional de professores.

A originalidade do estudo reside na integração intencional entre fundamentos da Aprendizagem Significativa, metodologia investigativa e tecnologias digitais interativas como eixo estruturante do processo didático. Ao evidenciar, por meio de dados empíricos, movimentos de reorganização conceitual e sua tradução em material pedagógico aplicável, a pesquisa avança para além da descrição de experiências com tecnologias educacionais e propõe um modelo que articula análise da aprendizagem, intervenção didática e produção técnica. Dessa forma, reafirma-se o potencial dos mestrados profissionais para gerar soluções educacionais fundamentadas, contextualizadas e passíveis de adaptação.

Entretanto, alguns limites da investigação precisam ser considerados. A pesquisa foi desenvolvida em uma única turma do Ensino Médio de uma escola pública, em um contexto específico, o que limita as possibilidades de generalização dos resultados para outras realidades educacionais. Além disso, o tempo de aplicação da sequência didática não permitiu acompanhar, em longo prazo, a estabilidade das reorganizações conceituais observadas, impossibilitando verificar se os significados construídos foram efetivamente consolidados ao longo do tempo. Outro aspecto relevante refere-se às dificuldades apresentadas por alguns estudantes no manuseio das tecnologias digitais e à pouca familiaridade prévia com recursos interativos, o que, em determinados momentos, influenciou o ritmo das atividades e exigiu maior mediação durante a utilização dos simuladores.

Nesse sentido, pesquisas futuras podem ampliar esta investigação por meio da aplicação da sequência didática em diferentes contextos escolares, níveis de ensino e conteúdo da Química, permitindo comparar padrões de aprendizagem e reorganização conceitual. Também se mostra relevante o desenvolvimento de estudos longitudinais que acompanhem a permanência dos significados construídos após a intervenção pedagógica. Além disso, novas pesquisas podem explorar a articulação entre simuladores, experimentação prática e outras metodologias investigativas, buscando compreender de que modo diferentes estratégias de mediação favorecem a integração entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico no ensino de Química.

Para além dos resultados obtidos, esta investigação reafirma que promover a aprendizagem significativa em Química implica reconhecer o estudante como sujeito ativo do

processo, valorizar seus conhecimentos prévios e organizar experiências didáticas que favoreçam a problematização, a investigação e a construção de explicações cada vez mais articuladas. Ao integrar fundamentos teóricos consistentes, intervenção pedagógica contextualizada e produção de um material aplicável à prática docente, a pesquisa evidencia que a inovação no ensino não reside apenas na incorporação de tecnologias, mas na intencionalidade pedagógica que orienta seu uso. Assim, conclui-se que a articulação entre metodologias investigativas e recursos digitais, quando sustentada por mediações conscientes e reflexivas, constitui um caminho promissor para o ensino de Cinética Química e para a educação científica de modo mais amplo, mantendo abertas possibilidades para novas investigações e reafirmando o compromisso da pesquisa educacional com a transformação das práticas escolares.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. K. **Simulações interativas no ensino de química: uma experiência sobre os estados de agregação da matéria**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (especialização em educação na cultura digital) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/168988>. Acesso em: 11 ago. 2024.
- AGUIAR, A. C.; ROCKENBACH, L. C.; RAUPP, D. T.; GREGÓRIO, J. R. Uma sequência didática investigativa utilizando a técnica predizer observar e explicar na busca da aprendizagem significativa dos conceitos de cinética química. **Revista Ifes Ciência**, v. 10, n. 2, p. 01-22, 2024. DOI: 10.36524/ric.v10i2.2438. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/379667093>. Acesso em: 11 ago. 2024.
- ALBANO, W. M.; DELOU, C. M. C. Principais dificuldades apontadas no ensino-aprendizagem de química para o ensino médio: revisão sistemática. **SciELO Preprints**, [S. l.], 2023. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.5700. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/5700>. Acesso em: 16 out. 2024.
- ANJOS, S. M.; PERIN, T. A.; MEDA, M. P. O.; ANDRADE, H. R. I.; FREIRES, K. C. P.; MINETTO, V. A. **Tecnologia na educação: uma jornada pela evolução histórica, desafios atuais e perspectivas futuras**. Iguatu, CE: Quipá Editora, 2024.
- ARAÚJO, E. S.; NASCIMENTO, J. L. B. do.; SILVA, J. C.; BIM, C. F. A. O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 1-25, 2021. DOI: 10.26843/rencima.v12n3a22. Disponível em: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/509/5092220023/index.html>. Acesso em: 22 jul. 2024.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- BRABO, J. C.; SILVA, E. O. DA. Diversificação de estratégias didáticas para ativar e manter o interesse em aulas de Química. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 17, n. 1, p. 153–167, 2022. DOI: 10.14483/23464712.16489. Disponível em: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/16489>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 10 maio 2024.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- CAMARGOS, H. S. de; IGREJA, C. L. V. S. O uso do simulador PhET para o ensino da matemática. **Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [S. l.], v. 9, n. Especial, p. 4-11, 2022. DOI: 10.20873/uftsupl2022-12770. Disponível em:

<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/12770>. Acesso em: 18 jun. 2024.

CASTRO, T. S. de. **Ensino de história: realidade aumentada enquanto recurso pedagógico**. 2021. Dissertação (Mestrado) Programa De Pós-Graduação Em Educação - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

CORREIA, M. A. M. **Evolução da abordagem do uso de simuladores computacionais na educação básica brasileira para o ensino de física**. 2022. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Física: licenciatura) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Maceió, 2022.

COSTA, E. P.; POLITANO, P. R.; PEREIRA, N. A. Exemplo de aplicação do método de Pesquisa-ação para a solução de um problema de sistema de informação em uma empresa produtora de cana-de-açúcar. **Gestão & produção**, v. 21, n. 4, p. 895–905, 2014. DOI: 10.1590/S0104-530X2014005000013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/cWwdyB7xyhxdWMqfLDthRBb/>. Acesso em: 11 maio 2024.

COSTA, M. T.; TAVARES, T. T. O uso de simuladores de internet para o ensino de Química. **Revista Mediação**, [S. l.], n. 9, p. 50–57, 2019. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/mediacao/article/view/4335>. Acesso em: 12 jul. 2024.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CUNHA, M. B.; OMACHI, N. A.; RITTER, O. M. S.; NASCIMENTO, J. E. do; MARQUES, G. Q.; LIMA, F. O. Metodologias ativas: em busca de uma caracterização e definição. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 40, e39442, 2024. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.3885. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/cSQY74VPYPJCvNLQdv4HZYn/>. Acesso em: 09 jun. 2025.

EL ANDALOUSSI, K. **Pesquisas-ações: ciência, desenvolvimento e democracia**. Tradução de Michel Thiollent. São Carlos: EdUFSCar, 2004.

FAGUNDES, R.; SASAKI, D. Um relato sobre uma aula de cinemática para alunos de ensino médio usando a metodologia de aprendizagem ativa POE. **Cadernos de Educação Básica**, v. 4, n. 1, p. 68, 2019. DOI: 10.33025/ceb.v4i1.2410. Disponível em: <https://portalespiral.cp2.g12.br/index.php/cadernos/article/view/2410>. Acesso em: 10 jun. 2024.

FELTRE, R. **Química geral**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

FERREIRA, C. J. **Programação de computadores aplicada à resolução de equações algébricas e plotagem de gráficos: um estudo na licenciatura em matemática**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/handle/4321/328>. Acesso em: 11 abr. 2026.

FIDELIS, P. N.; BOMFIM, M. M.; BUFFON, L. O.; ANDRADE, M. E. de. Uma aplicação do método POE: utilizando simulações para o estudo de densidade e empuxo no ensino

médio. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE FÍSICA APLICADA, 10., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 11–14.

FIELD'S, K. A. P.; RIBEIRO, K. D. F.; SOUZA, R. A. Utilização de metodologias ativas apoiadas em tecnologias digitais para o ensino de química: um relato de experiência. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 9, n. 2, e21052, 2021. DOI: 10.26571/reamec.v9i2.11890. Disponível em: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/437/4372405010/index.html>. Acesso em: 06 maio 2024.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 25. ed. São Paulo: Paz e terra, 2002.

GAMA, R. S.; ANDRADE, J. S.; SANTANA, E. de J.; SOUZA, J. G. de S.; SANTANA, E. M. de. Metodologias para o ensino de química: o tradicionalismo do ensino disciplinador e a necessidade de implementação de metodologias ativas. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 3 n. 2, p. 898-911, 2021. DOI: 10.29327/269504.3.2-37. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/5687>. Acesso em: 06 maio 2024.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236342878_Simulacao_computacional_como_uma_ferramenta_de_aquisicao_de_conhecimento. Acesso em: 22 jul. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMES, P. H. S.; COSTA, F. E. M. Dificuldades no ensino aprendizagem de química: estudo de caso no 2º ano do ensino médio. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v.16, e022012, 2022. DOI: 10.21439/conexoes.v16i0.2163. Disponível em: <https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/2163>. Acesso em: 05 maio 2024.

GUERRA, M. H. F. S.; VASCONCELOS, A. K. P.; SAMPAIO, C. G.; SALDANHA, G. C. B. Ensaio sobre os obstáculos epistemológicos presentes em estratégias metodológicas no ensino de Química: uma revisão da bibliografia. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 7, p. e15871113, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i7.1113. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/1113>. Acesso em: 22 dez. 2025.

HAYSOM, J.; BOWEN, M. **Predict, observe, explain: activities enhancing scientific understanding**. Arlington: NSTA Press, 2010.

HEMANN, K. C. V.; MIOTTO, F.; MARTINS, J. A. Análise das concepções prévias de estudantes do segundo ano do Ensino Médio sobre soluções químicas. **Ciência com Indústria, [S. l.]**, v. 2, p. e241313, 2024. DOI: 10.18226/23185279.e241313. Disponível em: <https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/13366>. Acesso em: 23 dez. 2025.

JAIME, D. M.; LEONEL, A. A. Uso de simulações: Um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, e20230309, 2024. DOI:10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0309.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PvcqYmVLssjYpggDb4Jmz8N/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 7, n. 2, p. 75–83, 1991. DOI: 10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>. Acesso em: 26 dez. 2025.

JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: Logical or psychological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1, n. 1, p. 9–15, 2000. DOI:10.1039/A9RP90001B. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/255741426_Teaching_of_Chemistry-Logical_or_psychological. Acesso em: 28 dez. 2025.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em perspectiva**, v. 14, n. 1, p. 85-93, 2000. DOI: 10.1590/S0102-88392000000100010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spp/a/y6BkX9fCmQFDNnj5mtFgzyF/>. Acesso em: 04 maio 2024.

LEAL, G. M.; SILVA, J. A.; SILVA, D.; DAMACENA, D. H. L. As tics no ensino de química e suas contribuições na visão dos alunos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 3733-3741, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-265. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/6337>. Acesso em: 11 jun. 2024.

LEITE, B. S. Tecnologias no ensino de química: passado, presente e futuro. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 3, p. 326-340, 2019.

LEITE, B. S. Pesquisas sobre as tecnologias digitais no ensino de química. **Debates em Educação**, v. 13, p. 244-269, 2021. DOI: 10.28998/2175-6600.2021v13nEsp2p244-269. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/13055>. Acesso em: 11 jun. 2024.

LIMA, J. O. G. DE. Perspectivas de novas metodologias no Ensino de Química. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 12, n. 136, p. 95-101, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/253328849>. Acesso em: 23 jun. 2024.

LIMA, J. O. G. DE. Do período colonial aos nossos dias: uma breve história do Ensino de Química no Brasil. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 12, n. 140, p. 71-79, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/235711328>. Acesso em: 23 jun. 2024.

LUCIANA, E. L. C. L.; LACERDA, T. C.; MENEZES, R. L. da S. Predizer, Observar e Explicar (POE): Metodologia Ativa para o Ensino de Radiação Nuclear na Pandemia. **Revista Interações**, [S. l.], v. 19, n. 66, p. 1-25, 2023. DOI: 10.25755/int.30766. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/interaccoes/article/view/30766>. Acesso em: 11 nov. 2024.

MARTINS, S. O.; SERRÃO, C. R. G.; SILVA, M. D. de B. O uso de simuladores virtuais na educação básica: uma estratégia para facilitar a aprendizagem nas aulas de química. **Revista Ciências e Ideias**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 216-233, 2020. DOI: 10.22407/2176-

1477/2020.v11i1.1280. Disponível em:
<https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/reci/article/view/1280>. Acesso em: 17 jun. 2024.

MORAES, D (org.). **Globalização, Mídia e Cultura Contemporânea**. 1. ed. São Paulo: Letra Livre, 1997.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. do C. **Análise Textual Discursiva**. 3. ed. Ijuí: Unijuí, 2016.

MORAN, J. M. **A Educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. 2. ed. Campinas, SP: Papyrus, 2007.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Aprendizagem significativa em revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 25-46, 2011.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2012.

MOREIRA, M. A.; ROSA, P. R. S. **Pesquisa em ensino: métodos qualitativos e quantitativos**. 2. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2016.

MORTIMER, E. F.; MIRANDA, L. C. Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 2, p. 23-26, 1995. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc02/aluno.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

MOTA, S. de A.; SANTANA, B. dos S.; COSTA, O. M. B. Concepções dos alunos da terceira série sobre a química e o cientista: um estudo qualitativo. **Revista de Estudos em Educação e Diversidade**, Itapetinga, v. 04, n. 11, p. 1 - 13, 2023. DOI: 10.22481/reed.v4i11.14048. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/reed/article/view/15863>. Acesso em: 16 maio 2024.

OLIVEIRA, A. L. de; SILVA, J. L. L. e; FERREIRA, V. A. Metodologias ativas: contribuição no aprendizado de alunos em uma instituição de ensino superior. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, São Paulo, v. 7, n. 16, p. e161311, 2024. DOI: 10.55892/jrg.v7i16.1311. Disponível em: <https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/1311>. Acesso em: 24 ago. 2025.

PALACIOS ORTEGA, A.; PASCUAL LÓPEZ, V.; MORENO MEDIÁVILLA, D. Methodological design in the use of virtual simulations in Chemistry: A systematic review. **Journal of Technology and Science Education**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 701-719, 2024. DOI: 10.3926/jotse.2357. Disponível em: <https://www.jotse.org/index.php/jotse/article/view/2357/865>. Acesso em: 11 dez. 2025.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **PhET Interactive Simulations**. Boulder: University of Colorado Boulder, 2026. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/>. Acesso em: 10 maio 2026.

PIRES, D. R. G.; SÁ, L. P. A experimentação no ensino de cinética química: buscando indícios da aprendizagem significativa. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 3, n. 2, p. 678-693, 2021. DOI: 10.29327/269504.3.2-23. Disponível em: <https://teste-periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/5673>. Acesso em: 22 jun. 2024.

POZO, J.I.; CRESPO, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RAHMAWATI, Yuli et al. Students' conceptual understanding in chemistry learning using PhET interactive simulations. **Journal of Technology and Science Education**, [S. l], v. 12, n. 2, p. 303-326, jun. 2022. ISSN 2013-6374. DOI: 10.3926/jotse.1597. Disponível em: <https://www.jotse.org/index.php/jotse/article/view/1597>. Acesso em: 03 dez. 2025.

ROCHA, J. S.; VASCONCELOS, T. C. Dificuldades de aprendizagem no ensino de química: algumas reflexões. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 18., 2016, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2016. p. 1–10. Disponível em: <https://eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf>. Acesso em: 25 maio 2024.

RODRIGUES, T. D. de F. F.; OLIVEIRA, G. S. de; SANTOS, J. A. dos. As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação. **Revista Prisma**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 154-174, 2021. Disponível em: <https://revistaprisma.emnuvens.com.br/prisma/article/view/49>, Acesso em: 25 jun. 2024.

ROSA, P. R. da; SCHARDOSIN, F. Z; ALPERSTEDT, G. D; FEUERSCHÜTTE, S. G. Estudo de caso e pesquisa-ação: semelhanças e distinções entre os métodos. **Revista de Ciências da Administração**, v. 25, n. 65, p. 1-17, 2024. DOI: 10.5007/2175-8077.2023.e80766. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/80766>. Acesso em: 28 maio 2025.

SAMPAIO, I. da S. **O simulador PhET como recurso metodológico no ensino de reações químicas no primeiro ano do ensino médio com aporte na teoria de Ausubel**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Roraima, Boa Vista, 2017.

SANTOS, R. J. DOS; SASAKI, D. G. G. Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 3506-1-3506-9, 2015. DOI: 10.1590/S1806-11173731955. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ytLL4Fc3Z8SZJNwr39rZdwh/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 07 ago. 2024.

SERRAO, C. R. G; PARENTE, A. G. L. Pesquisas sobre dificuldade de aprendizagem em química: enfoques e perspectivas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 14., 2023, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/93543>. Acesso em: 26 dez. 2025.

SILVA, S.R.; SANTOS, W.B.; COELHO, T.L.S.; SOUSA, J.A.; COELHO, A.S.L.; VELOSO, E.S.; ARAÚJO, A.M.L.; COELHO, F.L.; PASSOS, M.H.S.; MACHADO, I.C.P. Recursos inovadores e alternativos para o ensino de química: o que pensam os professores? *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA*, 53., 2013, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBQ, 2013. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/6/2941-11866.html>. Acesso em: 12 maio 2024.

SILVA-BATISTA, I. C.; MORAES, R. R. História do ensino de ciências na educação básica no Brasil (do Império até os dias atuais). **Revista Educação Pública**, v. 19, n. 26, 2019. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/26/historia-do-ensino-de-ciencias-na-educacao-basica-no-brasil-do-imperio-ate-os-dias-atuais>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SILVA, A. R. da.; PAIVA, M. A. V. Metodologia investigativa no ensino da cinética química. **Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica**, Vitória, v. 9, n. 01, p. 219-247, 2019. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/dect/article/download/1274/733/4668>. Acesso em: 28 jul. 2024.

SILVA, S. F.; FERREIRA JÚNIOR, J. M.; PAIVA, M. M. P. C.; COLARES, R. P. Metodologias ativas no ensino de química: um relato de experiências. **Revista Nova Paideia - Revista Interdisciplinar em Educação e Pesquisa**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 170–184, 2024. DOI: 10.36732/riep.v6i2.404. Disponível em: <https://ojs.novapaideia.org/index.php/RIEP/article/view/404>. Acesso em: 29 jun. 2024.

SOARES, S. de J. Pesquisa científica: uma abordagem sobre o método qualitativo. **Revista Ciranda**, [S. l.], v. 1, n.3, p. 168-180, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/ciranda/article/view/314>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SOUSA, C. O.; SILVANO, A. M. da C.; LIMA, I. P. de. Teoria da aprendizagem significativa na prática docente. **Revista ESPACIOS**, v. 39, n. 23, p. 27–38, 2018.

TAVARES, R.; FARIAS, M. J. G. S.; SANTOS, L. L. M.; ALENCAR, E. P. G. Perspectiva de discentes do curso de química sobre o senso comum na aprendizagem. **Revista Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 3, p. 63–75, 2023. DOI: 10.33871/23594381.2023.21.3.7377. Disponível em: <https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/ensinoepesquisa/article/view/7377>. Acesso em: 27 dez. 2025.

THIOLLENT, M. J. M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. 19. ed. São Paulo: Cortez, 2025.

TOMÉ, G. M.; JORGE, A. T.; SACHS, J. P. D.; SACHS, L. G. Cinética química: um modelo didático para o estudo de reações de 2ª ordem. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 4, n. 3, p. 469-486, 2021. DOI: 10.36661/2595-4520.2021v4i3.12136. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/12136>. Acesso em: 02 jun. 2024.

TREAGUST, D.; NIESWANDT, M.; DUIT, R. Sources of students' difficulties in learning chemistry. **Educación Química**, v. 11, n. 2, p. 228–234, 2000. DOI: 10.22201/fq.18708404e.2000.2.66458. Disponível em: <https://revistas.unam.mx/index.php/req/issue/view/5032>. Acesso em: 22 dez. 2025.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005. DOI: 10.1590/S1517-97022005000300009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ep/a/3DkbXnqBQyq5bV4TCL9NSH/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2024.

TÜMAY, H. Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, n. 2, p. 229-245, 2016. DOI: 10.1039/C6RP00008H. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/rp/c6rp00008h>. Acesso em: 24 dez. 2025.

VALENTE, J. A. A comunicação e a educação baseada no uso das tecnologias digitais de informação e comunicação. **Revista UNIFESO – Humanas e Sociais**, Teresópolis, v. 1, n. 1, p. 141-166, 2014.

VALENTE, J. A. A sala de aula invertida e a possibilidade do ensino personalizado: uma experiência com a graduação em midialogia. In: BACICH, L.; MORAN, J. (orgs.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018. p. 26-44.

VERAS, D. da C.; MOURA, M. R de S.; SAMPAIO, M da S.; COLE, T. S. S. Uso de laboratório virtual e pensamento computacional como estratégia pedagógica auxiliar no ensino de química. **Conjecturas**, v. 22, n. 14, p. 742-755, 2022. DOI: 10.53660/CONJ-1839-2M06. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364444174_Uso_de_laboratorio_virtual_e_pensamento_computacional_como_estrategia_pedagogica_auxiliar_no_ensino_de_quimica. Acesso em: 04 ago. 2024.

YAMAGUCHI, K. K. L.; ARAÚJO, E. A. Uso do modelo POE (previsão-observação-explicação) aplicando as disciplinas de química e matemática em favor do meio ambiente. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, Cuiabá, v. 8, n. 1, p. 96-111, 2020. DOI: 10.26571/reamec.v8i1.9619. Disponível em: <https://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/9619/pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução de Ernani F. da F. Rosa. 1. ed. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

APÊNDICE A - CARTA DE ANUÊNCIA

Eu, ROZANGELA CARVALHO DE ARAÚJO, BRASILEIRA, portadora da Carteira de Identidade Nacional Nº 564945992-49, no exercício do cargo de gestora da ESCOLA ESTADUAL VASCO VASQUES, localizada na rua Nova Esperança, SN, Jorge Teixeira 4ª etapa, declaro estar de acordo com a execução do Projeto de Pesquisa intitulado "EXPLORANDO A CINÉTICA QUÍMICA: UMA ABORDAGEM PRÁTICA ATRAVÉS DE SIMULADORES COMPUTACIONAIS E DA METODOLOGIA POE ", de responsabilidade da pesquisadora no Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) do DQA/DIPESP/IFAM., e atesto que a professora pesquisadora DAYANNY MAYARA FREITAS LEITE, CPF Nº 009.564.992-10 está vinculada a esta Instituição de Ensino, na função de professora, com carga horária de 40 horas semanais, ministrando aulas do componente curricular QUÍMICA. Portanto, assumimos o compromisso de apoiar o desenvolvimento da referida pesquisa a ser realizada nessa instituição, no período de março a abril de 2025, após a devida aprovação do Sistema CEP/CONEP.

Assinatura da Gestora da Escola

Portaria Nº GS 037/24

(Carimbo)

APÊNDICE B - DECLARAÇÃO DE USO DE INFRAESTRUTURA

Secretaria De Estado De Educação E Desporto Escolar – Seduc – Amazonas

Escola Estadual Vasco Vasques

R. Nova Esperança, Sn - Jorge Teixeira 4ª Etapa, Manaus – Am, 69088-474

Ao Comitê de Ética em Pesquisa,

Eu, Rozangela Carvalho De Araújo, portadora do CPF 564945992-49, no exercício do cargo de Gestora Escolar na Escola Estadual Vasco Vasques, declaro que a pesquisadora Dayanny Mayara Freitas Leite, portadora do CPF 009.564.992-10, terá acesso à infraestrutura da nossa instituição para a realização do projeto de pesquisa intitulado "Explorando a Cinética Química: uma abordagem prática através de simuladores computacionais e da metodologia POE".

Especificamente, a pesquisadora terá acesso às seguintes instalações e recursos:

- Sala de aula em que a disciplina será ofertada.
- Laboratório de informática.
- Projetor de imagem, se houver necessidade.

Estamos cientes da responsabilidade e compromisso com a ética em pesquisa e asseguramos que todas as condições para a realização do projeto serão cumpridas conforme descrito no protocolo submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa.

Manaus, _____ de _____ de _____

Rozangela Carvalho de Araújo

Gestora Escolar

(Carimbo)

APÊNDICE C - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE)

Prezado(a) aluno(a), você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada “Explorando a cinética química: uma abordagem prática através de simuladores computacionais e da metodologia POE”, coordenada pela pesquisadora Dayanny Mayara Freitas Leite, sob orientação da professora doutora Ana Cláudia Rodrigues de Melo.

O objetivo principal do estudo é propor uma abordagem de ensino através da utilização da tecnologia dos simuladores virtuais e investigar quais impactos essa abordagem tem para a aprendizagem significativa dos alunos em relação aos conceitos básicos de Cinética Química. A realização da pesquisa ocorrerá no horário regular de aula, especificamente da disciplina de Química, na Escola Estadual Vasco Vasques, entre os meses de março e abril.

A sua participação é voluntária, ou seja, não é obrigatória, tendo plena autonomia sobre a decisão de participar ou não, bem como se retirar a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. Você não terá prejuízo algum caso decida não consentir sua participação, ou desistir da mesma. Contudo, sua participação é muito importante para a execução da pesquisa, onde todas as informações prestadas terão a garantia de confidencialidade e privacidade. Os participantes não serão identificados e qualquer dado que possa identificá-lo, como nome, fotografias e vídeos, será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material obtido através da pesquisa será armazenado em local seguro.

A sua participação consistirá em responder um questionário antes da intervenção metodológica, participar das atividades que envolverá a utilização dos simuladores computacionais (virtuais), debates, rodas de conversa e posteriormente responder ao questionário avaliativo. Haverá também o registro fotográfico e a realização de entrevistas, individualmente e em pequenos grupos, as quais serão gravadas em áudio para posterior transcrição. Tanto os questionários quanto as entrevistas serão transcritos em material digital, onde apenas a pesquisadora terá acesso aos dados. Durante a realização da pesquisa, ou posteriormente, você poderá solicitar informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, diretamente com a pesquisadora.

Para você participar voluntariamente desta pesquisa, deverá assinar o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) realizado pelo aluno e obter a autorização através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) realizada pelos seus pais ou responsáveis. Não haverá pagamento ou custos pessoais envolvidos para participar desta pesquisa, mas o seu direito a indenização será garantido caso ocorram despesas previstas ou

imprevistas, ou se houver qualquer dano (físico ou psicológico) decorrente da sua participação nesta pesquisa.

Os únicos riscos previstos neste estudo são o tempo prolongado para responder os questionários e o possível constrangimento por não saber responder alguma pergunta. Contudo, para minimizar esses riscos, garantimos total liberdade para o aluno recusar responder qualquer questão que lhe cause desconforto emocional ou constrangimento, seja nos questionários ou em outras atividades propostas na pesquisa. Além disso, a pesquisadora sempre estará presente e atenta a qualquer sinal de desconforto do participante, intervindo imediatamente caso aconteça.

Se você aceitar participar da pesquisa, favor assinar este documento no espaço solicitado, onde se pede “assinatura do participante”. Informamos que os resultados da pesquisa poderão ser divulgados em dissertação de mestrado, artigos científicos e eventos acadêmicos, sempre mantendo em sigilo sua identidade e imagem.

Caso você tenha dúvidas, poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável Dayanny Mayara Freitas Leite, pelo telefone (92) 982704775 ou pelo e-mail dayanny.mayara@gmail.com.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (CEP/IFAM), através do e-mail: comissao.etica@ifam.edu.br. O Comitê de Ética tem a função de proteger a integridade e a dignidade dos participantes da pesquisa, garantindo que seus interesses sejam preservados. Ele atua para assegurar que a pesquisa seja conduzida de acordo com padrões éticos, avaliando e monitorando o projeto para garantir que os princípios de proteção aos direitos humanos, dignidade, confidencialidade e privacidade sejam respeitados ao longo de todo o processo.

Ao assinar abaixo, você concorda em participar da pesquisa nos termos deste TALE e autoriza a apresentação dos resultados desta pesquisa em defesa de mestrado, eventos da área de ensino de Ciências e publicar em revista científica nacional e/ou internacional. Assim seguirá para as etapas seguintes da pesquisa.

Declaração de Assentimento

Concordo em participar do estudo intitulado: “Explorando a cinética química: uma abordagem prática através de simuladores computacionais”.

<hr/> Assinatura do participante	Data: ____/____/____
-------------------------------------	----------------------

APÊNDICE D - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Prezado(a) responsável, seu filho(a) está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa que tem como título “Explorando a cinética química: uma abordagem prática através de simuladores computacionais e da metodologia POE”, desenvolvida pela pesquisadora Dayanny Mayara Freitas Leite. Este tipo de pesquisa é importante porque busca entender as dificuldades na aprendizagem de Química, assim como o impacto de novas abordagens metodológicas no ambiente analisado.

O objetivo principal do estudo é propor uma abordagem de ensino através da utilização da tecnologia dos simuladores virtuais e investigar quais impactos essa abordagem tem para a aprendizagem significativa dos alunos em relação aos conceitos básicos de Cinética Química. A proposta deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) é explicar sobre a pesquisa e solicitar a sua permissão para que possa ser publicada em meios científicos como revistas, congressos e/ou reuniões científicas de profissionais da área da educação ou afins.

A realização da pesquisa ocorrerá no horário regular de aula, especificamente da disciplina de Química, na Escola Estadual Vasco Vasques, entre os meses de março e abril. A participação do aluno é voluntária, ou seja, não é obrigatória, tendo plena autonomia sobre a decisão de participar ou não, bem como se retirar a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. Contudo, a participação do seu filho(a) é muito importante para a execução da pesquisa, onde todas as informações prestadas terão a garantia de confidencialidade e privacidade. Os participantes não serão identificados e qualquer dado que possa identificá-lo, como nome, fotografias e vídeos, será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material obtido através da pesquisa será armazenado em local seguro.

Se o(a) senhor(a) concordar em autorizar o seu filho(a) a contribuir com a pesquisa, a participação dele(a) consistirá em responder um questionário antes da intervenção metodológica, participar das atividades que envolverá a utilização dos simuladores computacionais (virtuais), debates, rodas de conversa e posteriormente responder ao questionário avaliativo. Durante a realização da pesquisa, haverá também o registro fotográfico e a realização de entrevistas com os participantes, individualmente e em pequenos grupos, as quais serão gravadas em áudio para posterior transcrição. Tanto os questionários quanto as entrevistas serão transcritos em material digital, onde apenas a pesquisadora terá acesso aos dados. Durante a realização da pesquisa, ou posteriormente, seu filho(a) poderá solicitar informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados neste Termo.

Para que seu filho(a) participe voluntariamente desta pesquisa, é necessário que o(a) senhor(a) assine o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Não haverá pagamento ou custos pessoais envolvidos para participar desta pesquisa, mas o seu direito a indenização será garantido caso ocorram despesas previstas ou imprevistas, ou se houver qualquer dano (físico ou psicológico) decorrente da participação dele(a) nesta pesquisa. Os únicos riscos previstos neste estudo são o tempo prolongado para responder os questionários e o possível constrangimento por não saber responder alguma pergunta. Contudo, para minimizar esses riscos, garantimos que o estudante tem total liberdade para recusar responder qualquer questão que lhe cause desconforto emocional ou constrangimento, seja nos questionários ou em outras atividades propostas na pesquisa. Além disso, a pesquisadora sempre estará presente e atenta a qualquer sinal de desconforto do participante, intervindo imediatamente caso aconteça.

Se você aceitar que seu filho(a) faça parte da pesquisa, favor assinar este documento no espaço solicitado, onde se pede “assinatura do responsável”. Informamos que os resultados da pesquisa poderão ser divulgados em dissertação de mestrado, artigos científicos e eventos acadêmicos, sempre mantendo em sigilo a identidade e imagem de seu filho(a).

Caso o(a) Sr(a) tenha dúvidas, poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável Dayanny Mayara Freitas Leite, pelo telefone (92) 982704775 ou pelo e-mail dayanny.mayara@gmail.com. Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (CEP/IFAM), através do e-mail: comissao.etica@ifam.edu.br. O Comitê de Ética tem a função de proteger a integridade e a dignidade dos participantes da pesquisa, garantindo que seus interesses sejam preservados. Ele atua para assegurar que a pesquisa seja conduzida de acordo com padrões éticos, avaliando e monitorando o projeto para garantir que os princípios de proteção aos direitos humanos, dignidade, confidencialidade e privacidade sejam respeitados ao longo de todo o processo.

Ao assinar abaixo, o(a) senhor(a) concorda que o menor pelo qual é responsável participe da pesquisa nos termos deste TCLE, e autoriza a apresentação dos resultados desta pesquisa em defesa de mestrado, eventos da área de ensino de Ciências e publicar em revista científica nacional e/ou internacional. Assim seguirá para as etapas seguintes da pesquisa.

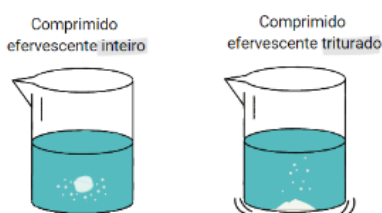
Declaração de Consentimento

<p>_____</p> <p>Assinatura do responsável</p>	<p>Data: ____/____/____</p>
---	-----------------------------

APÊNDICE E - QUESTIONÁRIO INICIAL

IDENTIFICAÇÃO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Para você, o que é uma reação química e como ela ocorre?
2. Imagine que você esqueceu um pedaço de fruta fora da geladeira em um dia quente, ao ir guardá-la percebeu que já estava estragada. Por que você acha que ela estragou mais rápido no calor do que se estivesse na geladeira?
3. Em uma panela de pressão, os alimentos cozinham mais rapidamente. Como você acha que a pressão e a temperatura influenciam nesse processo?
4. Quando comemos, mastigamos os alimentos antes de engolir. Por que você acha que triturar a comida pode ajudar o corpo a "quebrá-la" mais rapidamente?
5. Ao cozinhar batatas, é comum cortá-las em pedaços menores para acelerar o cozimento. Por que você acha que isso faz com que cozinhem mais rápido?
6. Comprimidos efervescentes, como os antiácidos estomacais, ao serem colocados em água são dissolvidos ao realizarem reação química. Imagine que temos dois potes de água, o primeiro com um comprimido efervescente inteiro e o segundo com o comprimido efervescente triturado. Se compararmos essas duas situações, qual você acha que dissolverá mais rápido? Por que você acha que isso acontece?



7. Durante a digestão, nosso corpo utiliza enzimas para quebrar os alimentos. Elas são proteínas que catalisam diversas reações em nosso organismo. Como você acha que essas enzimas influenciam a velocidade da digestão?
8. Ao preparar um churrasco, é comum ventilar o carvão para que o fogo se propague mais rapidamente. Como você acha que o aumento da quantidade de oxigênio influencia nesse processo?

APÊNDICE F - FICHA DE OBSERVAÇÃO

Etapa “Observar” da Sequência Didática

Tema: Fatores que influenciam a velocidade das reações químicas

Simulador utilizado: PhET Colorado – Reações e Taxas

Objetivo da atividade:

Explorar diferentes condições experimentais na simulação “Reações e Taxas” para analisar e que forma variáveis como temperatura, concentração e catalisador influenciam a velocidade das reações químicas, confrontando essas observações com as hipóteses formuladas anteriormente.

Parte 1

Explorando a Simulação

- ✓ Abra a simulação PhET – Reações e Taxas.
Link de acesso: https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/reactions-and-rates/latest/reactions-and-rates.html?simulation=reactions-and-rates&locale=pt_BR
- ✓ Navegue pelas abas Colisão Simples, Muitas Colisões e Experimentos de Taxas.
- ✓ Identifique os elementos principais: caixa de colisões, reagentes, controle de temperatura, gráficos de quantidades e o diagrama de energia.

O que acontece quando as partículas se chocam?

Testando a Concentração

- ✓ Na aba “Experimentos de taxas”, selecione a reação: $A + BC \rightarrow AB + C$.
- ✓ Fixe a temperatura na posição intermediária (temperatura deve permanecer constante).
- ✓ Varie as concentrações iniciais (cronometre cada um dos experimentos e anote):

Experimento	Condições iniciais	Tempo para iniciar a formação do produto
1	A=5, BC=5	
2	A=15, BC=15	
3	A=25, BC=25	

- ✓ Observe:
O que acontece com a frequência das colisões entre as partículas em cada um dos experimentos (movimento das partículas)?
Rapidez na formação dos produtos.

Barras do gráfico de quantidades.

- ✓ Registre os resultados no quadro de observação.

Experimento	O que você observou? (rapidez da reação, colisões)	Conclusão: quanto maior a concentração...
1		
2		
3		

Testando a Temperatura

- ✓ Fixe as concentrações (A = 15, BC = 15).
- ✓ Realize experimentos em três condições:

- 1- Temperatura baixa
- 2- Temperatura intermediária
- 3- Temperatura alta

- ✓ Observe:

Como muda a velocidade de movimento das partículas (mais lento ou mais rápido) com a mudança de temperatura?

Como se altera a frequência de colisões observada.

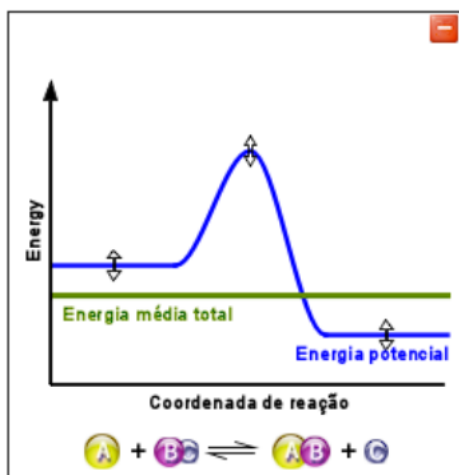
Rapidez na formação dos produtos (através do gráfico de quantidades de produtos e reagentes).

- ✓ Registre os resultados no quadro de observação.

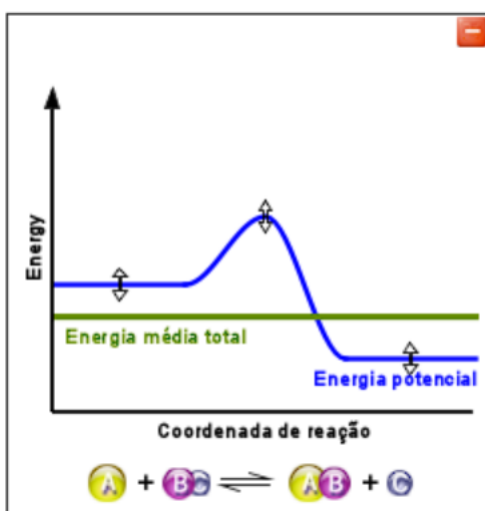
Temperatura	Movimento das partículas	Rapidez da reação	Conclusão
Baixa			
Média			
Alta			

Energia de Ativação e Catalisador

- ✓ Ative a “visualização do gráfico de energia”.
- ✓ Em “condições iniciais”: Escolha uma reação (Crie a sua).
- ✓ Ajuste o gráfico de energia e coordenada de reação (a linha azul um pouco para cima, representando a reação sem catalisador):



- ✓ Indique a quantidade de partículas (A=10 e BC=10).
- ✓ Anote a taxa de formação de produtos (1 minuto): _____
- ✓ Reinicie o experimento e ajuste novamente o gráfico de energia e coordenada de reação (a linha azul um pouco para baixo, representando a reação com catalisador):



- ✓ Anote a taxa de formação de produtos (1 minuto): _____
- ✓ Após as observações, faça as anotações que se pede a seguir:

Situação da reação	Ajuste no gráfico de energia	Quantidade de produtos após 1 min	Observações
Sem catalisador	Linha azul mais alta (maior barreira de energia)		
Com catalisador	Linha azul mais baixa (menor barreira de energia)		

Compare:

Qual reação (com catalisador ou sem catalisador) favoreceu a ocorrência da reação química?

Explique, com suas palavras: como o catalisador afeta a energia de ativação e a velocidade da reação?

Parte 2 – Discussão em grupo

1. Qual fator vocês consideraram mais impactante para acelerar a reação? Justifiquem com base nas observações:

2. Algum resultado foi diferente do que vocês previram? O que chamou atenção?

3. Que vantagens vocês perceberam em usar uma simulação para observar esses fenômenos?

Parte 3 – Conclusão do grupo

Com base nas simulações realizadas, escrevam uma conclusão explicando o que vocês aprenderam sobre os fatores que influenciam a velocidade das reações químicas.
