

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

FRANCIELE TATIANA HAUPT

**A UTILIZAÇÃO DE ORGANIZADORES PRÉVIOS PARA O ENSINO DE
ESTEQUIOMETRIA: UMA PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

Porto Alegre, 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

FRANCIELE TATIANA HAUPT

**A UTILIZAÇÃO DE ORGANIZADORES PRÉVIOS PARA O ENSINO DE
ESTEQUIOMETRIA: UMA PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

Trabalho de conclusão apresentado junto à atividade de ensino “Trabalho de Conclusão de Curso - QUI” do Curso de Química, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciada em Química

Prof. Dra. Daniele Trajano Raupp
Orientadora

Porto Alegre, 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha orientadora, Daniele Trajano Raupp por todo o incentivo, suporte e dedicação concedido durante a realização dos estágios e no desenvolvimento deste trabalho. Foi um prazer e um grande aprendizado ser sua orientanda.

Agradeço também à minha família, principalmente aos meus pais, Isolde e Adelar, por todo amor, carinho e apoio de sempre.

Por fim, agradeço aos colegas e amigos da química por toda ajuda, amizade e companheirismo ao longo do curso.

RESUMO

O desenvolvimento desse trabalho objetivou elaborar, aplicar e avaliar uma sequência didática denominada Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para abordar o conteúdo estequiometria, utilizando como organizadores prévios ingredientes culinários. A proposta justifica-se pelo fato de a estequiometria ser considerada um dos tópicos mais difíceis de serem compreendidos pelos alunos, devido à necessidade do uso e interpretação de linguagens química, física e matemática. A forma como o conteúdo é comumente abordado, com enfoque no aspecto matemático em detrimento de uma interpretação química, levando a uma mecanização dos procedimentos para a solução dos problemas, também contribui para dificuldade de aprendizagem. Essa mecanização se opõe à teoria da aprendizagem significativa defendida por David Ausubel. Segundo sua teoria, novos conhecimentos interagem com conhecimentos prévios, sendo assim, o fator mais importante no ensino é estabelecer relações com que o aluno já sabe. A pesquisa caracterizada como estudo de caso de duas turmas do ensino médio ocorreu em duas etapas, primeiramente elaboração, aplicação e análise em turma piloto e posterior reestruturação para nova aplicação. Os dados foram coletados por meio de questionários, registros no diário de campo, bem como produções dos alunos (questionários, mapa conceitual, resolução de problemas). A análise dos dados foi baseada na análise de conteúdo e buscou identificar evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar e aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A análise dos resultados indica que o uso da UEPS facilitou o ensino do conteúdo e os resultados obtidos com uso de ingredientes culinários como organizadores prévios contribuiu principalmente para a introdução do conceito específico de reagente limitante, favorecendo a compreensão dos alunos sobre os aspectos matemáticos, físicos e químicos.

Palavras-chave: estequiometria; aprendizagem significativa; organizadores prévios.

ABSTRACT

The development of this work aimed to elaborate, apply and evaluate a didactic sequence called Potentially Significant Teaching Unit (PMTU) to approach the stoichiometric content using previous culinary ingredients as organizers. The proposal is justified by the fact that stoichiometry is considered one of the most difficult topics to be understood by students, due to the need for the use and interpretation of chemical, physical and mathematical languages. The way the content is commonly approached, with a focus on the mathematical aspect at the expense of a chemical interpretation, leading to a mechanization of the procedures for solving the problems also contributes to learning difficulties. This mechanization is opposed to the theory of meaningful learning advocated by David Ausubel. According to his theory, new knowledge interacts with previous knowledge, so the most important factor in teaching is to establish relationships with what the student already knows. The research characterized as a case study of two high school classes took place in two stages, first elaboration, application and analysis in a pilot class and later restructuring for a new application. Data were collected through questionnaires, records in the field diary, as well as students' productions (questionnaires, conceptual map, problem solving). Data analysis was based on content analysis and sought to identify evidence of meaningful learning (capturing meanings, understanding, ability to explain and apply knowledge to solve problem situations). The analysis of the results indicates that the use of PMTU facilitated the teaching of the content and the results obtained with the use of culinary ingredients as previous organizers contributed mainly to the introduction of the specific concept of limiting reagent, favoring students' understanding of mathematical, physical aspects and chemicals.

Keywords: stoichiometry; meaningful learning; previous organizers.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	11
3 REVISÃO DE LITERATURA	12
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
4.1 A aprendizagem significativa	20
4.2 Unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS).....	22
5 METODOLOGIA	25
5.1 Caracterização da pesquisa	25
5.2 Caracterização da amostragem	26
5.3 Instrumentos de coleta de dados e análise de dados.....	29
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	31
6.1 A organização da UEPS para o ensino de estequiometria	31
6.2 Análise do estudo piloto.....	32
6.2.1 Análise das questões	37
6.2.2 Avaliação da UEPS	45
6.3 Análise do estudo final	45
6.3.1 Análise comparativas dos mapas conceituais	48
6.3.2 Análise das questões	57
6.3.3 Avaliação da UEPS	67
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seleção dos artigos.....	15
Figura 2 - Etapas da pesquisa.....	25
Figura 3 - Registro da situação inicial	33
Figura 4 - Receitas de bolo utilizadas na situação-problema inicial	34
Figura 5 - Receitas e questões utilizadas como organizadores prévios para o ensino de conceitos relacionados a reagente limitante e reagente em excesso	35
Figura 6 - Questões da prova envolvendo reagente em excesso e limitante ...	36
Figura 7 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma piloto na resolução da questão com ingredientes culinários.....	39
Figura 8 - Resolução da questão 9 da prova pela aluna E.....	39
Figura 9 - Resolução da questão 9 da prova pelo aluno F.....	40
Figura 10 - Resolução da questão 9 da prova pela aluna A.....	40
Figura 11 - Resolução da questão 9 da prova pela aluna C	41
Figura 12 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma piloto na resolução da questão convencional, com reação química (Questão 10)	41
Figura 13 - Resolução da questão 9 da prova pela aluna D	42
Figura 14 -Resolução da questão 9 da prova pela aluna L.....	42
Figura 15 - Resolução da questão 10 da prova pelo aluno O	43
Figura 16 - Resolução da questão 10 da prova pelo aluno R	43
Figura 17 - Atividade com simulação para reagentes em excesso e limitantes	47
Figura 18 - Atividade prática com pipocas como analogia ao rendimento de reações	47
Figura 19 - Mapa conceitual inicial do grupo 1	49
Figura 20 - Mapa conceitual final do grupo 1	49
Figura 21 - Mapa conceitual inicial do grupo 2.....	51
Figura 22 - Mapa conceitual final do grupo 2	51
Figura 23 – Mapa conceitual inicial do grupo 3	52
Figura 24 - Mapa conceitual final do grupo 3	53
Figura 25 - Mapa conceitual inicial do grupo 4.....	54

Figura 26 - Mapa conceitual final do grupo 4	54
Figura 27 - Mapa conceitual inicial do grupo 5	55
Figura 28 - Mapa conceitual final do grupo 5	56
Figura 29 - Mapa conceitual final do grupo 6	57
Figura 30 - Questões da prova envolvendo reagente em excesso e limitante (estudo final).....	58
Figura 31 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma final na resolução da questão com ingredientes culinários (Questão 7).....	60
Figura 32 - Resolução da questão 7 da prova pelo aluno 18	60
Figura 33 - Resolução da questão 7 da prova pela aluna 13	61
Figura 34 - Resolução da questão 7 da prova pela aluna 15	61
Figura 35 - Resolução da questão 7 da prova pelo aluno 14	62
Figura 36 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma final na resolução da questão convencional, com reação química (Questão 8)	62
Figura 37 -Resolução da questão 8 da prova pela aluna 23	63
Figura 38 - Resolução da questão 8 da prova pela aluna 18	64
Figura 39 -Resolução da questão 8 da prova pela aluna 3	64
Figura 40 -- Resolução da questão 8 da prova pela aluna 11	65
Figura 41 - Resolução da questão 8 da prova pela aluna 16	65

1 INTRODUÇÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta os resultados de uma pesquisa sobre a utilização de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o ensino de estequiometria, que teve a aplicação realizada em duas etapas distintas em turmas de um Curso Técnico em Química no ano de 2019, durante o período do Estágio de Docência em Ensino de Química II-C e do Estágio de Docência em Ensino de Química III-C, além do desenvolvimento durante o período de iniciação científica voluntária.

Entre os diversos conteúdos desafiadores no ensino de química, a estequiometria das reações é considerada um dos tópicos mais difíceis de serem compreendidos pelos alunos. Entre os fatores que contribuem para as dificuldades apresentadas pelos alunos, são apontados a necessidade de uso e interpretação de três diferentes linguagens (matemática, física e química) (PIO, 2006 *apud* DA COSTA; SOUZA, 2013) que, no domínio cognitivo, estão relacionadas com os três níveis representacionais da química (simbólico, microscópico e macroscópico) (LE MAIRE *et al.*, 2018). Os níveis representacionais são assim detalhados (JOHNSTONE, 1991; GILBERT; TREAGUST, 2009): o *nível macroscópico* está relacionado às representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta, construído mediante a informação proveniente dos sentidos. O *nível microscópico* está correlacionado às representações abstratas, com as entidades pequenas como átomos, íons, moléculas. No *nível simbólico* os conceitos químicos são expressados a partir de fórmulas, equações entre outros.

Da Costa e Souza (2013) também atribuem a dificuldade dos alunos à forma como o conteúdo é abordado, com enfoque no aspecto matemático em detrimento de uma interpretação química, levando a uma mecanização dos procedimentos para a solução de problemas. Essa mecanização dos procedimentos se opõe à aprendizagem significativa, que, segundo a Teoria da Aprendizagem significativa de David Ausubel, ocorre à medida em que as ideias expressas simbolicamente interagem de forma substantiva (não literal) e não arbitrária com o que o sujeito já sabe (MOREIRA, 2013). Ainda segundo Moreira (2013), para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa, é necessário que o material de aprendizagem seja

potencialmente significativo (seja relacionável à estrutura cognitiva do sujeito) e que o aprendiz apresente predisposição para aprender (dispor de conhecimentos prévios/subsunçoes necessários).

Com o objetivo de modificar o modelo de ensino que tem sido baseado na memorização dos conteúdos e que proporciona uma aprendizagem puramente mecânica, Moreira (2011) propõe a construção de sequências de ensino denominadas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPSs), que são pautadas em teorias que objetivam a aprendizagem significativa.

Neste contexto, esse trabalho tem como questão de pesquisa: Como o uso de uma unidade de ensino baseada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel para o ensino de estequiometria pode contribuir para o desenvolvimento deste conteúdo e para atenuar as dificuldades de aprendizagem dos alunos?

Após esse capítulo introdutório, são apresentados no capítulo 2 os objetivos deste trabalho. O capítulo 3 apresenta a revisão de literatura a respeito das dificuldades de ensino e aprendizagem do conteúdo de estequiometria e as estratégias apresentadas para o ensino deste tópico. Em seguida, no capítulo 4 consta a fundamentação teórica que traz o aporte utilizado para a construção da unidade de ensino. No capítulo 5 é descrita a metodologia utilizada, iniciando pela caracterização da pesquisa, seguido da caracterização da amostragem e dos instrumentos de coleta e análise de dados empregados. No capítulo 6 são apresentadas as sequências didáticas utilizadas, seguido da análise e discussão dos resultados de cada uma das duas aplicações. Por fim, o capítulo 7 apresenta as considerações finais acerca do trabalho, seguido das referências utilizadas.

2 OBJETIVOS

Investigar a elaboração e aplicação de uma sequência didática denominada Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para abordar o conteúdo de estequiometria utilizando como organizadores prévios ingredientes culinários.

Objetivos específicos

a) Validar a UEPS com uma turma piloto para verificação das potencialidades e necessidades de adequação.

b) Analisar as formas de contribuição da UEPS para o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de estequiometria.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O conceito de estequiometria (do grego *stoicheion* = elemento e *metria* = medida) é a base para o entendimento da diferença entre a química quantitativa e a qualitativa (MENDES; SANTANA; JÚNIOR, 2017). Assim a estequiometria é compreendida como o campo da química "que lida com as relações quantitativas das transformações químicas que estão implícitas nas fórmulas e nas equações químicas" (DOS SANTOS; DA SILVA, 2014, p.134).

Para se compreender a quantidade de matérias envolvidas em uma reação química é essencial saber expressar as quantidades de uma substância em massa, número de mols, em volume de líquido, em volume de gás nas diversas condições de temperatura e de pressão e em volume de solução. A interpretação correta de uma equação de reação química é fundamental para o estudo dos cálculos que determinam as quantidades de substâncias envolvidas (BELTRAN; CISCATO, 1999), uma vez muitos outros conceitos de química envolvem o domínio da compreensão das equações químicas e de cálculos provenientes da estequiometria.

Dentre os tópicos desafiadores no ensino de Química, a estequiometria de reações é um ponto crítico, especialmente quando se trata de entender como funcionam as reações e, particularmente, a diferença entre condições de reação estequiométrica e não estequiométrica, também conhecida como "estequiometria do reagente limitante" (LE MARIE *et al.*, 2018). Segundo Pio (2006 *apud* DA COSTA; SOUZA, 2013), o desenvolvimento do cálculo estequiométrico engloba três linguagens: matemática (aritmética e proporção), física (unidades de medida) e química (simbologia, grandezas e equações químicas). No domínio cognitivo essas linguagens estão relacionadas com os três níveis representacionais da química, simbólico, microscópico e macroscópico, e o conhecimento de matemática. Outro fator está relacionado com a complexidade do vocabulário químico associado a problemas estequiométricos, que pode impedir que os alunos usem operações matemáticas simples para resolvê-los (LE MAIRE *et al.*; 2018).

O reagente limitante de uma reação é aquele que é consumido completamente ao término da reação química e que determina a quantidade máxima de produto que pode ser formado, enquanto que os demais reagentes estão em excesso (ATKINS,

2018). Obstáculos na resolução de problemas de estequiometria envolvendo um reagente limitante são relatados há décadas. Kalantar (1985) declara que, durante anos, seus alunos de química tiveram dificuldades neste tipo de problemas, especialmente em casos em que a estequiometria da reação não é de 1:1, mesmo compreendendo que as quantidades estequiométricas de reagentes eram exceção e não regra e apesar dos tratamentos geralmente claros apresentados nos textos. Muitos dos erros comuns cometidos pelos alunos ao determinar a quantidade de produto formado envolvem: reconhecer erroneamente o reagente que está em menor quantidade como sendo o reagente limitante; calcular a quantidade de produto como sendo um somatório das quantidades de reagentes, não considerando o rearranjos dos átomos nas moléculas durante a reação química; resolver o problema diretamente com quantidade em gramas, não convertendo para número de mols; não perceber que haverá algum excesso de reagente no final da reação; e não atribuir os coeficientes aos reagentes descritos (SOSTARECZ ; SOSTARECZ, 2012).

Diversos autores apontam o ensino de estequiometria como um dos tópicos mais difíceis de serem compreendidos pelos alunos. Da Costa e Souza (2013) afirmam que a dificuldade dos alunos normalmente está relacionada à forma como o conteúdo é abordado, com enfoque no aspecto matemático em detrimento de uma interpretação química, levando a uma mecanização dos procedimentos para a solução de problemas envolvendo aspectos quantitativos dos fenômenos químicos. Com o objetivo de vencer esses obstáculos, Aguiar e Castilho (2019) propõem o uso de modelagem de estruturas moleculares para uma aprendizagem significativa em estequiometria, de forma semelhante ao proposto por Santos (2013). Araújo e Barroso (2011), por sua vez, discutem sobre a importância da aplicação de jogo pedagógico “passa e repassa” na aprendizagem do mesmo conteúdo curricular, enquanto que Da Costa e Souza (2013) também estudam a utilização de jogos didáticos como metodologia de ensino alternativa, porém agregando ao estudo o uso da contextualização.

Um método para favorecer o domínio dos alunos a respeito de condições estequiométricas e não-estequiométricas são “analogias ilustradas” (LE MAIRE *et al.*, 2018). As analogias são bastante utilizadas no ensino de ciências, apresentando função explicativa, com uma explicação mais acessível para algo de difícil compreensão. Consiste no emprego ideias familiares a situações não familiares tendo

como função básica estabelecer relações entre as ideias (JUSTI; MENDONÇA, 2008). Segundo Gafoor e Shilna (2012), o uso de analogias é recomendado porque fornece uma ponte entre um conceito desconhecido e o conhecimento que os estudantes possuem, o que motiva os alunos e facilita a visualização de conceitos abstratos por comparações com objetos concretos.

Para compreender as estratégias para o ensino e as dificuldades de aprendizagem relatadas por pesquisadores, principalmente dentro do contexto latino-americano, foi realizada uma revisão sistemática de literatura em periódicos nacionais compreendendo as etapas a) elaboração da pergunta de investigação, b) definição do método de busca, de c) determinação dos critérios de inclusão e exclusão de documentos, e d) análise da relevância da literatura encontrada para esse trabalho (SAMPAIO; MANCINI,2007).

A pergunta de investigação, que norteou essa revisão foi: Quais as dificuldades e as estratégias relatadas para o ensino e aprendizagem de estequiometria? A busca por documentos foi executada em periódicos com Qualis A1 e A2 na área de ensino (quadriênio 2013-2016) além do periódico Química Nova na Escola, por constituir-se um importante meio de pesquisa para professores de química, em especial da Educação Básica (COLEN, 2012). A estratégia de busca utilizada foi utilizar as palavras-chave “cálculo estequiométrico *or* estequiometria *or* stoichiometry” , tendo como escopo o texto completo. Para a seleção foram adotados quatro critérios de inclusão: contemplar a estequiometria como um dos temas centrais, apresentar elementos que possam ser considerados como estratégia ou tema para contextualização no ensino desse conteúdo, estar publicado na língua portuguesa ou espanhola e recorte temporal de 20 anos (2000-2019). Foram adotados como critérios de exclusão: estudos que não contemplavam a estequiometria como tema central, estudos que não discutiam estratégias de ensino e/ou dificuldades de aprendizagem específicas desse conteúdo.

A busca foi realizada diretamente nas plataformas dos periódicos e 29 artigos foram identificados nos periódicos Acta Scientiae, Ciência & Educação, Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas, Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia e Química Nova na Escola. Além dos periódicos listados, foram consultados: Ensaio: Pesquisa e Educação em Ciências, Alexandria, Investigações

em Ensino de Ciências, Contexto & Educação, Revista Brasileira de Educação em Ciências, Revista de Educação, Ciências e Matemática; porém nenhum artigo com as palavras-chave foi encontrado. A triagem foi realizada com base em uma primeira leitura flutuante do texto completo e 23 artigos foram excluídos nessa etapa por não estarem de acordo com os critérios definidos, totalizando 6 artigos selecionados para a revisão sistemática. A dinâmica de seleção dos estudos, bem como as causas de exclusão estão descritas na Figura 1.

Figura 1 - Seleção dos artigos



Fonte: A autora (2020)

Após a seleção, passou-se à etapa seguinte, de análise da relevância da literatura para essa pesquisa, realizada por meio da leitura detalhada dos artigos que integraram o *corpus* de pesquisa (Tabela 1). Buscou-se identificar o direcionamento do artigo (se teórico ou empírico), o nível de ensino contemplado, se o mesmo apresentava alguma estratégia de ensino para estequiometria e por fim, se os autores relatavam alguma dificuldade acerca da aprendizagem dos alunos. Um resumo dos pontos mais relevantes está organizado na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização dos artigos analisados

Nº	Autor(es)	Ano	Revista /Qualis	Título	Direcionamento	Nível de Ensino	Estratégia de ensino	Dificuldade relatada
1	Livia Cristina dos Santos; Márcia Gorette Lima da Silva	2014	Acta Scientiae A2	Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria	Empírico	Ensino Superior	-	Dificuldade de abstração e transição entre os níveis de representação; a grandeza da Constante de Avogrado; a confusão entre mol/quantidade de matéria/Constante de Avogrado/massa molar e as dificuldades no manejo de técnicas matemáticas.
2	Lydia Raquel Galagovsky; María Angélica Di Giacomo; Salvador Alí	2015	Ciência & Educação A1	Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto.	Teórico	Ensino Superior	-	Confusão do modelo macroscópico da Lei de Conservação das massas e o conceito submicroscópico de conservação de número de átomos em uma reação balanceada.
3	Lydia Galagovsky; Jimena Giudice	2015	Ciência & Educação A1	Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos.	Teórico	Ensino Superior	-	Ensino com foco cálculos e procedimentos algorítmicos em detrimento do desenvolvido um "pensamento conceitual" sobre a estequiometria.
4	Fidel Antonio Cárdenas	2006	Ciência & Educação A1	Dificultades de aprendizaje en química: caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas.	Empírico	Ensino Superior	-	A sobrecarga de instruções na memória de trabalho e familiarização insuficiente com as operações básicas necessárias para resolver o problema.
5	Ana Alice Farias da Costa; Jorge Raimundo da Trindade Souza	2013	Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas A2	Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico.	Empírico	Ensino Médio	Contextualização e jogos didáticos	Falta de base matemática, dificuldades de interpretação de dados e falta de interesse dos alunos; aspectos matemáticos, falta de dinamismo, de exemplos e de aulas práticas acerca do conteúdo.
6	Verônica Tavares Santos Batinga; Francismar Martins Teixeira	2014	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia A2	A Abordagem de Resolução de Problemas por uma professora de Química: análise de um problema sobre a Combustão do Álcool envolvendo o conteúdo de Estequiometria.	Empírico	Ensino Médio	Resolução de Problemas e experimentação	Concepções alternativas sobre reação química resultam em dificuldade para a aprendizagem de estequiometria.

Fonte: A autora (2020)

No artigo 1, os autores buscam identificar e avaliar as dificuldades na compreensão do conceito de estequiometria de licenciandos em química utilizando uma prova pedagógica. Destacam a concepção de aparecimento/desaparecimento de matéria nas transformações químicas, desconsideração das proporções estequiométricas na representação e confusão da grandeza quantidade de matéria (DOS SANTOS; DA SILVA, 2014). Os autores ainda destacam a relevância da compreensão da estequiometria em função de sua vasta aplicação no contexto tecnológico.

Por exemplo, quando falamos em indústria química não há como não pensar em cálculos estequiométricos e o entendimento desse conceito está diretamente relacionado à compreensão de vários fenômenos que ocorrem ao nosso redor, sendo necessário para que os estudantes possam interpretar as transformações químicas em diferentes contextos. (DOS SANTOS; DA SILVA, 2014, p.134).

Os autores Galagovsky, Di Giacomo e Alí (2015) no artigo 2 analisam o tema estequiometria e sua relação com a Lei da Conservação da Massa, sob a ótica da análise comunicacional na busca da interpretação dos erros dos alunos. Afirmam que o discurso da química é expresso em múltiplas linguagens para representar suas explicações abstratas: a linguagem verbal em explicações e textos; linguagem gráfica em desenhos e diagramas, tanto a nível macroscópico como atômico-molecular; linguagens matemáticas em equações e linguagem de fórmulas químicas em equações químicas, etc. Ao analisar as respostas de alguns estudantes em uma avaliação de Química Geral, os autores apontam os obstáculos na discriminação do conceito de conservação de massa, principalmente em questões que envolvem reagente em excesso, uma vez os estudantes usam justificativas que negam o cumprimento da lei de conservação da massa. Segundo os autores os currículos de disciplinas introdutórias que dão ênfase a definições e processos algorítmicos de resolução de problemas com os quais um químico especialista está acostumado lidar, mas não abordam forma como os químicos pensam por abordarem os conceitos de forma simplificada.

O artigo 3 os autores focam no estudo teórico da resolução de problemas de estequiometria com diferentes linguagens químicas (questões clássicas e questões que envolvem desenhos com partículas para descrever os estados inicial e final de sistemas reagentes). Os autores analisaram dados coletados em duas pesquisas prévias que utilizaram esse mesmo modelo. Constataram que menos de 50% dos

alunos que responderam ao problema “tradicional” responderam corretamente à questão “conceitual” de forma satisfatória. Concluem ainda que os estudantes universitários de primeiro nível estariam aprendendo a resolver problemas de estequiometria por meio de cálculos e procedimentos algorítmicos para os quais são treinados durante as aulas. No entanto, eles não estariam imaginando o que as reações significam no nível atômico-molecular. Segundo esses autores, os alunos que não conseguissem fazer uma correspondência entre os desenhos simbólicos e a equação química correspondente não teriam desenvolvido um “pensamento conceitual” sobre a estequiometria (GALAGOVSKY, GIUDICE, 2015).

Cárdenas (2006) no artigo 4 considera que as dificuldades de aprendizagem em tópicos como estequiometria, equação de estado, equilíbrio químico e soluções tampão, poderiam ser explicadas em parte, levando-se em conta tanto fatores internos (capacidade de processar informações), quanto fatores externos (a própria natureza da Química). Em investigação usando testes padronizados aplicados na área de aprendizagem em química para estabelecer a capacidade mental dos estudantes (exigem que o sujeito retenha ou memorize informações temporariamente e opere mentalmente sobre elas, ou seja, para processar essas informações), constatou-se que mesmo os estudantes que apresentam valores elevados de capacidade mental, tiveram baixo rendimento ao realizar as questões propostas. Ao analisar tais questões, em particular as do exame final da disciplina de Química Geral, verificou-se que estavam relacionadas com os temas que os alunos consideravam mais difíceis. Assim a confluência desses fatores internos e externos é proposta como uma possível explicação para o grau de aprendizagem dos sujeitos da pesquisa. A sobrecarga de instruções na memória de trabalho ou familiarização insuficiente com as operações básicas necessárias para resolver o problema foram destacadas pelos autores como as principais dificuldades relacionadas à aprendizagem.

As dificuldades de aprendizagem apontadas por Costa e Souza (2013) no artigo 5 estão relacionadas tanto às grandezas químicas quanto a interpretação de texto. Afirmam que os estudantes:

Além de não conseguirem relacionar grandezas e compreender o enunciado da questão, para fazer os cálculos, os alunos provavelmente memorizam, de uma maneira mecânica, os passos que o professor realiza ao resolver o problema. Assim, os alunos passam mais tempo decorando do que tentando entender os conteúdos e interpretar as situações (COSTA; SOUZA, 2013).

Os autores ainda mencionam a maneira como o assunto é abordado, privilegiando os aspectos matemáticos em detrimento de uma interpretação química, o que gera uma mecanização dos procedimentos para a resolução de problemas de estequiometria, além do problema da abordagem, a própria dificuldade com conhecimentos básicos de matemática que os alunos apresentam.

No artigo 6 as autoras Batinga e Teixeira (2014) investigam como professora introduz a experimentação de forma articulada à resolução de problemas em aulas de Química do ensino médio. O experimento combustão do álcool foi utilizado com o objetivo de introduzir o conteúdo de estequiometria em nível qualitativo. As autoras afirmam que “A compreensão dos alunos sobre o que é uma reação química é primordial para introdução do estudo da estequiometria.” (BATINGA; TEIXERA, 2014, p.42). Isso por que muitos estudantes possuem concepções alternativas sobre reação química e a falta de uma compreensão conceitual sobre o conceito se estabelece como uma dificuldade para a aprendizagem de estequiometria.

De forma geral, ao concluir a revisão sistemática de literatura constata-se que as dificuldades de aprendizagem apontadas pelos autores envolvem basicamente, questões relacionadas ao domínio da linguagem matemática, dificuldades de compreender e resolver problemas com uso de diferentes grandezas químicas, concepções alternativas sobre conceitos básicos necessários para entendimento das relações estequiométricas e falta de compreensão conceitual do tema.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 A aprendizagem significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, objetiva compreender como o conhecimento é adquirido e a nossa estrutura cognitiva é construída (AUSUBEL, 2003). Na perspectiva do autor, a aprendizagem é um processo por meio do qual uma nova informação (as ideias expressas simbolicamente) interage de forma substantiva (não literal) e não arbitrária com aquilo que o sujeito já sabe (MOREIRA, 2013). A interação de forma literal está relacionada com a aprendizagem mecânica, uma vez que esse tipo de interação, em geral, limita-se a reproduzir o conhecimento de maneira idêntica à que foi apresentada ao aprendiz.

A aprendizagem mecânica fundamenta-se na memorização de novas ideias sem estabelecer conexões. Em vista disso, trata-se de um aprendizado com menores chances de permanecer na estrutura cognitiva do aluno a longo prazo. Contudo, se há o estabelecimento de conexões entre a nova informação e o conhecimento prévio, tem-se como resultado a construção de significados pessoais para essa informação. A construção de significados pessoais é elaborada de forma “não literal”; desse modo, se caracteriza como uma aprendizagem significativa (TAVARES, 2004). A interação não arbitrária não deve ocorrer com qualquer ideia prévia, mas, sim, com algum conhecimento, especificamente relevante, já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Esse conhecimento prévio, isto é, aquilo que o sujeito já sabe, é o que Ausubel chamava de subsunçor ou ideia-âncora.

Em outras palavras, a nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes já presentes na estrutura cognitiva. A importância dos subsunçores no processo de aprendizagem é enfatizada por Ausubel, Novak e Hanesian (1980). Segundo os autores, se tivessem que reduzir a um princípio único toda a psicologia educacional, esse princípio seria: “O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 137).

Quando o aluno não dispõe de subsunçores adequados para a ancoragem da nova informação, pode-se recorrer aos organizadores prévios. Organizador prévio é um recurso que deve preceder o material de aprendizagem, ou seja, deve ser utilizado antes da abordagem do conhecimento científico a ser desenvolvido, e deve ter um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação a esse. Além de suprir a deficiência de subsunçores, os organizadores prévios podem ser usados para auxiliar os alunos a perceberem a relacionabilidade entre os novos conhecimentos apresentados e os seus conhecimentos pré-existentes (MOREIRA, 2013).

Assim, a aprendizagem significativa é considerada uma ampliação na estrutura cognitiva que opera como âncora para novos conceitos e ideias, estabelecendo relações entre as ideias e organizando-as hierarquicamente. Para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa, é fundamental que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo (material relacionável à estrutura cognitiva do sujeito) e que o aprendiz tenha predisposição para aprender (dispor de conhecimentos prévios/subsunçores necessários) (MOREIRA, 2013).

O professor tem o papel de favorecer a construção dessas relações lógicas, utilizando os princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, que são pressupostos dessa teoria. Na diferenciação progressiva, apresentam-se os conceitos mais gerais, os quais são discriminados progressivamente em conceitos mais específicos. A reconciliação integrativa consiste na construção e reconstrução das relações conceituais, visto que novos conceitos foram incorporados à estrutura cognitiva e precisam ser reorganizados (KONFLANZ *et al.*, 2020).

Visando a facilitar essa relação lógica, Moreira (2011) propõe a criação de materiais potencialmente significativos, com uma estrutura organizada, que façam sentido ao público para o qual se pretende desenvolver determinado conceito e contribuam para uma aprendizagem com qualidade, se diferenciando da aprendizagem mecânica.

4.2 Unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS)

As denominadas unidades de ensino potencialmente significativas (UEPSs) são sequências de ensino alicerçadas em teorias de aprendizagem que visam à aprendizagem significativa, em contraposição à aprendizagem puramente mecânica. Esse tipo de proposta didática tem como argumento principal a contribuição para uma modificação no ensino, que, ao longo das últimas décadas, tem sido pautado na memorização de conteúdo, proporcionando apenas a aprendizagem mecânica (MOREIRA, 2011).

Sob essa ótica, o papel do professor é apresentar situações-problema, cuidadosamente selecionadas, para organizar o ensino, mediando a captação de significados da parte do aluno. Depois de definido o objetivo da sequência didática e identificados os aspectos declarativos e procedimentais sobre o tópico a ser abordado, Moreira (2011) recomenda que a UEPS seja organizada de acordo com aspectos sequenciais, que são, resumidamente, os seguintes:

Situação inicial: Nessa etapa, devem-se propor situações para que o aluno externalize seus conhecimentos prévios em relação ao conteúdo. Discussões, questionários e mapas conceituais são exemplos de atividades para essa fase.

Situação-problema inicial: De posse dos conhecimentos prévios dos alunos, deve-se propor uma situação-problema de nível introdutório, envolvendo o tópico a ser estudado, buscando dar um sentido à temática. Podem ser sugeridas situações por meio de simulações, demonstrações, vídeos, problemas cotidianos, matérias midiáticas, exercícios clássicos, desde que tenham um nível acessível e problematizador. A organização de uma situação-problema inicial é imprescindível para a aprendizagem significativa. São as situações-problema que dão sentido aos novos conhecimentos.

Aprofundamento do conteúdo: O conhecimento deve ser apresentado a partir da diferenciação progressiva, ou seja, partindo-se de aspectos mais gerais, com uma visão integrada dos elementos relevantes à matéria de ensino para a exemplificação de pormenores específicos. Devem-se valorizar atividades colaborativas após a

exposição do conteúdo, como práticas em grupos e apresentações. Conceitos estruturantes devem ser apresentados em níveis crescentes de complexidade, sempre destacando semelhanças e diferenças entre os exemplos, ou seja, em uma reconciliação integrativa.

Nova situação-problema: A nova situação-problema deve propor questionamentos com um nível de complexidade maior, evidenciando as correspondências e contradições entre os conceitos. As atividades devem valorizar ações colaborativas entre os alunos, proporcionando maior interação e negociação de significados, sempre com a mediação do professor. Podem-se propor tarefas como resolução de problemas, construção de mapas conceituais, experimentos, elaboração de projetos, etc.

Aula integradora final: Abordam-se, aqui, as características mais relevantes do conteúdo em questão, dando continuidade ao método de diferenciação progressiva a partir de uma ótica integradora, buscando a reconciliação integrativa entre os conceitos.

Avaliação da aprendizagem na UEPS: A avaliação, nessa perspectiva, deve buscar evidências de compreensão de significados e capacidade de transferência do conhecimento para diferentes situações. Inclui a avaliação formativa (situações, tarefas em grupo, registros do professor), que visa a avaliar o progresso ao longo do processo de aprendizagem, e a avaliação somativa individual, na qual deverão ser propostas questões/situações, em geral, no formato de provas que demandem a compreensão e evidenciem a captação de significados (MOREIRA, 2011). A avaliação deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na formativa quanto na somativa individual. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.

Avaliação da UEPS: A fim de aprimorar e/ou validar as estratégias de ensino, além da evolução conceitual dos alunos, deve ser considerada uma avaliação conjunta sobre a UEPS. Tal avaliação pode se dar por meio de uma roda de conversa ou mesmo de um questionário avaliativo.

Assim esperamos que a UEPS proposta nesse trabalho contribua para o ensino e aprendizagem, tendo em vista que, ao assumirmos a importância do estudo da

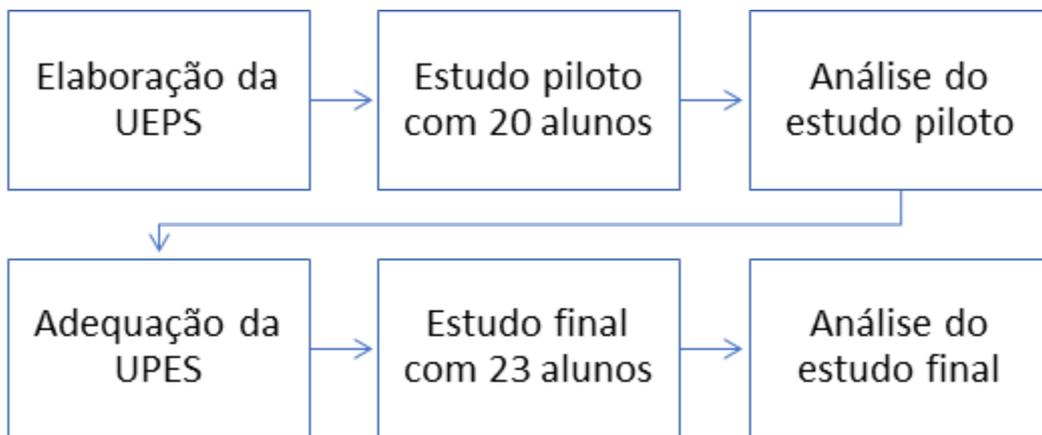
estequiometria e das dificuldades de aprendizagem expressas pelos estudantes, destacamos o relevante papel do professor ao mediar esses pontos para favorecer o aprendizado (DOS SANTOS, DA SILVA 2014). Essa mediação baseia-se na utilização dos conhecimentos prévios que os estudantes tem sobre receitas e ingredientes culinários para a compreensão das relações quantitativas, das diferentes grandezas e das condições estequiométricas e não estequiométricas.

5 METODOLOGIA

5.1 Caracterização da pesquisa

Esse trabalho caracteriza-se como estudo de caso descritivo de natureza aplicada e com abordagem qualitativa, uma vez que esse tipo de pesquisa “Procura descobrir a frequência com que um fato ocorre, sua natureza, suas características, causas, relações com outros fatos.” (PROVDANOV, FREITAS, 2013, p.52). Os procedimentos metodológicos, utilizados na pesquisa, foram organizados em seis diferentes etapas (Figura 2).

Figura 2 - Etapas da pesquisa



Fonte: A autora (2020)

A elaboração, aplicação e análise em turma piloto ocorreu durante a regência do Estágio de Docência em Ensino de Química II-C em 2019/1. Na ocasião o objetivo era elaboração de uma UEPS com foco na abordagem de cálculos envolvendo reagente limitante utilizando ingredientes culinários como organizadores prévios. Após análise do estudo piloto para nova aplicação durante a regência do Estágio de Docência em Ensino de Química III-C em 2019/2, identificou-se a possibilidade de expandir a UEPS para abordar outros conceitos pertinentes à estequiometria como pureza e rendimento; bem como o uso de estratégias de avaliação e recursos didáticos que tivessem o potencial de contribuir para a aprendizagem significativa, como o uso de mapas conceituais, uso de simuladores com analogias ilustradas (que também utilizam ingredientes culinários como estratégia para compreensão dos conteúdos), e de atividade demonstrativa em sala de aula. Além dessas mudanças,

incluiu-se o uso de outros organizadores prévios com ingredientes culinários. A sequência didática da UEPS reformulada aparece descrita no APÊNDICE A¹.

5.2 Caracterização da amostragem

As duas turmas que fizeram parte do estudo eram do turno noturno de uma escola técnica localizada na Região Metropolitana de Porto Alegre. A escola possui uma estrutura voltada para a educação profissional de nível técnico de forma integrada e posterior, com cerca de três mil alunos matriculados, oriundos de mais de 50 municípios do Rio Grande do Sul. Na forma integrada, ocorre articulado ao ensino médio, no turno diurno em regime seriado anual, destinado aos alunos que tenham concluído o Ensino Fundamental. No noturno, na forma posterior, é desenvolvido em regime semestral e matrícula por disciplina e destinado aos estudantes que já tenham concluído o Ensino Médio.

O curso busca desenvolver as competências necessárias à operação, monitoramento e controle analítico de processos industriais, bem como a prestação de serviços de assistência técnica nas áreas industrial e comercial, o controle de qualidade de insumos e produtos e ao desenvolvimento de projetos de pesquisa em diferentes tecnologias de produção, com base nos princípios da gestão e preservação ambiental.

No primeiro semestre do Curso Técnico em Química noturno, a disciplina de Química Inorgânica I é considerada a disciplina introdutória e aborda conceitos básicos como teoria atômica, tabela periódica, funções inorgânicas, reações químicas, grandezas químicas e estequiometria. Apesar de ser uma disciplina introdutória, a professora regente da disciplina afirma que os alunos relatam dificuldade em acompanhar seus conteúdos, o que explica os altos índices de reprovação e evasão historicamente apresentados. Com o intuito de amenizar esse problema, a disciplina que antes era de quatro créditos passou a contar com oito créditos, sendo ministrada em duas noites por semana, prevendo assim um maior tempo disponível em sala de aula para esclarecimento de dúvidas e resolução de exercícios. Os conceitos relativos à estequiometria são os últimos a serem abordados no cronograma, e pertencem à

¹ O apêndice é um trecho do artigo submetido à Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática, que trata da apresentação da proposta didática.

denominada Unidade 8 - Cálculo estequiométrico, que é subdivida em partes: relações molares mol – mol, relações mol – massa, relação massa-massa, relação massa volume, relações entre o número de moléculas (átomos) e massa, quantidade em mols ou volume, problemas envolvendo reagentes em excesso ou reagente limitante, sistema em que os reagentes são substâncias impuras, rendimento da reação.

O estudo piloto foi aplicado com uma turma de Química Inorgânica I do curso técnico de química, durante o Estágio de Docência em Ensino de Química II-C em 2019/1. A turma era composta por 31 alunos e destes 25 participaram do levantamento do perfil da turma por meio de um questionário.

Segundo os dados obtidos, a turma era composta por alunos de 17 a 32 anos, embora a maior parte deles tenha entre 18 e 21 anos. Entre os respondentes, apenas quatro não trabalhavam durante o dia. Cinco alunos já trabalhavam como auxiliar de laboratório, dois trabalhavam como jovem aprendiz e dois trabalhavam como auxiliar administrativo. Entre as outras profissões exercidas pelos alunos estavam: Serviços gerais, controle de qualidade, programador, atendente de *Call Center*, auxiliar de produção, tingimento de tecidos, entre outras.

Os alunos também foram questionados quanto à motivação para ingressarem no curso técnico de química. Quinze alunos afirmaram terem sido motivados pelo interesse e pela afinidade com os conteúdos e área da química. Oito alunos citaram aspectos relacionados à necessidade de buscar qualificação e melhores oportunidades no mercado de trabalho e à possibilidade de atuar na área da química. Dois alunos relataram a impossibilidade de ingressar no ensino superior como fator motivador, quatro alunos citaram a vontade de adquirir conhecimento e vivenciar novas experiências e um aluno relatou ter sido motivado pelo fato de seus familiares também terem se formado na instituição.

Todos os alunos afirmaram considerar que os conteúdos de química têm papel importante na vida deles. A maior parte dos alunos (15) justificou essa importância com aspectos relacionados à compreensão dos fenômenos e de situações observadas no cotidiano e à aquisição de conhecimentos no geral, enquanto que sete alunos citaram aspectos mais relacionados à carreira profissional. Quatro alunos não especificaram qual é o papel que os conteúdos desempenham. Apesar da escolha do curso, dezenove alunos afirmaram ter dificuldades de aprendizagem na disciplina de

química, sendo que está relacionada, na maioria dos casos, com dificuldade de concentração, de acompanhar o ritmo do professor, de interpretação de texto ou de decorar tabelas.

No estudo final, aplicado durante o Estágio de Docência em Ensino de Química III-C em 2019/2, a turma de Química Inorgânica I era composta inicialmente de 34 alunos, dentre os quais 23 responderam ao questionário para caracterização do perfil da turma.

Os dados levantados mostram que os alunos da turma tinham idades entre 18 e 33 anos e que a maioria destes (16 alunos) exercia alguma atividade profissional. Quatro alunos afirmaram trabalhar na área da química, como estagiário ou auxiliar de laboratório e dois alunos trabalhavam como técnicos de outra área, sendo um deles em mecânica e outro em pneus. Dos demais alunos, a maioria exercia alguma função de auxiliar, como de produção, de escritório, de compras, de ficha técnica ou de dentista.

Assim como na turma do estudo piloto, o fator motivador mais apontado pelos alunos para o ingresso no curso foi a afinidade pela química, sendo citado por onze alunos. Seis alunos foram motivados pela possibilidade de melhores salários e carreira no mercado de trabalho, enquanto dois alunos apontaram a necessidade de uma base melhor para um futuro ingresso ou retorno ao ensino superior. Entre os outros fatores que motivaram os alunos a buscarem a formação técnica, foram citados o ensino e o reconhecimento da instituição, a busca por novos conhecimentos e a influência familiar.

Quando questionados se acham que os conteúdos de química têm papel importante na vida deles, apenas um aluno respondeu negativamente. Os alunos que responderam afirmativamente atribuíram a importância principalmente à compreensão dos fenômenos do cotidiano e à aplicação industrial, medicinal, alimentícia e ambiental destes conteúdos. Dos dezessete alunos que afirmaram que tem ou já tiveram dificuldades de aprendizagem na disciplina de Química, muitos citaram dificuldades em disciplinas do Curso Técnico como um todo. Entre as dificuldades mais específicas, foram apontados obstáculos na nomenclatura de compostos, interpretação de algumas questões, memorização do que é exigido que

saibam de cor e aprendido de uma grande quantidade de conteúdos em pouco tempo.

A composição da amostra para ambas etapas da pesquisa, levou em conta a participação voluntária mediante preenchimento do Termo de Consentimento (APÊNDICE B) e a realização de 75% das atividades propostas ao longo da unidade de ensino. Dessa forma 20 alunos compõe a análise da primeira turma e 23 alunos da segunda turma.

5.3 Instrumentos de coleta de dados e análise de dados

Os instrumentos de coleta de dados que foram utilizados ao longo da aplicação da UEPS, na busca de evidências de aprendizagem significativa são bem como a metodologia de análise de dados estão descritos a seguir.

Estudo piloto

Situação-problema inicial: questões calculadas com o uso de ingredientes culinários. Essa etapa consistiu em uma análise quantitativa objetivando identificar se os cálculos haviam sido realizados corretamente.

Avaliação somativa individual: questões calculadas envolvendo ou não ingredientes culinários. Nessa etapa além da análise, realizou uma análise qualitativa descritiva da resolução apresentados pelos alunos baseada na análise de conteúdo de Bardin (2016), que compreende os polos cronológicos: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. Para codificação, foi utilizado o método das categorias, usando como regra de enumeração a frequência e tendo como regras de base as três etapas propostas por Laville e Dionne (1999): 1) Recorte de conteúdos: 2) Definição das categorias analíticas: 3) Categorização final das unidades.

Dessa forma, foram estabelecidas cinco categorias analíticas iniciais que serão detalhadas nos resultados (*Resolveu corretamente, Resolveu incorretamente, Não resolveu, Resolveu parcialmente e Não participou da atividade*). A regra de enumeração utilizada foi a frequência, uma vez que “a importância de uma unidade registro aumenta com a frequência de aparição.” (Bardin, 2016, p. 138). A análise

buscou identificar as possíveis causas de erro ao resolver as questões propostas, bem como os métodos utilizados para a resolução, quando possível.

As formas de resolução foram categorizadas como *Método A* – Cálculo da quantidade necessária de um determinado reagente em função de outros reagentes para identificação do reagente limitante e, a partir disso, o cálculo da quantidade possível de um determinado produto final; e *Método B* - Cálculo da quantidade de produto obtido em função da quantidade de um cada um dos reagentes e, a partir disso, a identificação do reagente limitante.

E, por fim, na análise das questões da prova, além de contabilizar o percentual de acertos e método de resolução, buscou-se identificar as causas de erro e agrupá-las conforme similaridade.

Avaliação da UEPS: questão aberta que objetivou avaliar a sequência de ensino na perspectiva dos estudantes. Para esses dados qualitativos, utilizou-se análise descritiva dos textos apresentados.

Estudo final

Situação Inicial – Mapa conceitual inicial

Avaliação somativa individual – Mapa conceitual final

Para análise desses dados utilizou-se análise comparativa descritiva. Essa análise foi baseada nas etapas de codificação e comparação do tipo caso a caso conforme apresentadas por Gibbs (2009). Os mapas inicial e final de cada grupo foram analisados visando identificar os aspectos semelhantes e diferentes, buscando identificar a evolução dos conceitos apresentados, bem como a relação hierárquica e a ligação entre os mesmos.

Situações-problema iniciais: idem ao estudo piloto, apenas análise quantitativa.

Avaliação somativa individual: idem ao estudo piloto, análise qualitativa e quantitativa, categorizando os resultados apresentados.

Avaliação da UEPS - Questões abertas e fechadas para avaliação dos alunos sobre a UEPS que foram analisadas de acordo com a frequência de aparição para questões fechadas e análise descritiva das questões abertas conforme descritos anteriormente por Gibbs (2009).

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 A organização da UEPS para o ensino de estequiometria

A sequência didática da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) utilizada para o ensino de estequiometria no Estudo Piloto, ao longo de sete aulas (cada uma com cinco períodos de cinquenta minutos), é retratada no Quadro 1. Esta UEPS foi elaborada com enfoque nos organizadores prévios, com utilização de receitas culinárias (bolos, torradas e omeletes), aplicados aos conceitos e cálculos relacionados ao tópico reagente em excesso e reagente limitante.

Quadro 1- Sequência didática da UEPS para o ensino de estequiometria no Estudo Piloto

Sequência	Etapa da UEPS	Estratégia utilizada
Aula 1	Situação Inicial Situações-problema iniciais Aprofundamento do conteúdo	Aula dialogada Resolução da situação problema inicial Aula expositiva com uso de organizador prévio
Aula 2	Nova situação-problema Aprofundamento do conteúdo	Aula expositivo-dialogada com uso de organizador prévio e resolução de cálculos
Aula 3	Aprofundamento do conteúdo	Aula expositiva e resolução de cálculos
Aula 4	Aprofundamento do conteúdo	Resolução de cálculos
Aula 5	Avaliação somativa individual Avaliação da UEPS	Resolução de questão desafio Aplicação de questionário com questão aberta
Aula 6	Avaliação somativa individual	Aplicação de prova
Aula 7	Aula final	Resolução de dúvidas referentes às questões da atividade avaliativa

Fonte: A autora (2020)

Após a análise preliminar dos dados, a UEPS foi reestruturada para uma nova aplicação. Com o objetivo de incluir instrumentos de avaliação formativa, que possibilitassem identificar evidências de aprendizagem significativa, e com o intuito de agregar outras atividades com potencial de proporcionar esse tipo de aprendizagem, desta vez englobando todos os tópicos trabalhados durante a unidade de ensino, o estudo final passou a contar com atividade de produção de mapa conceitual a partir dos conhecimentos prévios, uso de simulador computacional com analogias ilustradas para a compreensão do conteúdo de reagente limitante, atividade prática para

introdução do tópico referente ao rendimento de reações químicas e atividade de elaboração de mapa conceitual ao final da unidade.

Também se verificou, a partir dos dados do estudo piloto, a necessidade de modificar o instrumento de avaliação da UEPS pelos alunos. Por esse motivo, o questionário foi reformulado. Além das estratégias que já haviam sido utilizadas no estudo piloto, todas as estratégias adicionais foram incorporadas dentro das mesmas etapas da UEPS, que foram reorganizadas em uma sequência de oito aulas, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Sequência didática da UEPS para o ensino de estequiometria no Estudo Final

Sequência	Etapas da UEPS	Estratégias utilizadas
Aula 1	Situação inicial; Situações-problema iniciais; Aprofundamento do conteúdo.	Mapa conceitual inicial; Resolução da situação-problema inicial; Aula expositiva com uso de organizador prévio e resolução de cálculos.
Aula 2	Nova situação-problema; Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositivo-dialogada com uso de organizador prévio, simulador computacional e resolução de cálculos.
Aula 3	Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositiva e resolução de cálculos.
Aula 4	Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositivo-dialogada com uso de organizador prévio (atividade prática) e resolução de cálculos.
Aula 5	Aprofundamento do conteúdo.	Resolução de cálculos.
Aula 6	Avaliação da aprendizagem; Avaliação da UEPS.	Mapa conceitual final; Resolução de questão-desafio; Aplicação de questionário com questões abertas e fechadas para avaliação da UEPS.
Aula 7	Avaliação somativa individual.	Aplicação de prova.
Aula 8	Aula final.	Resolução de dúvidas referentes às questões da atividade avaliativa.

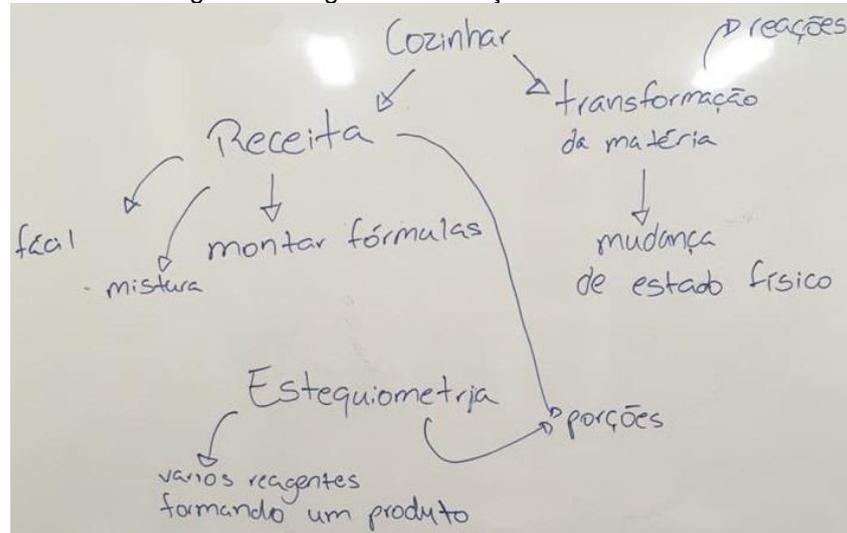
Fonte: A autora (2020)

6.2 Análise do estudo piloto

A UEPS teve início na Aula 1 com a *Situação Inicial*, que se deu através de uma discussão a respeito do tema, lançando mão de perguntas como “o que o preparo de uma receita tem a ver com química?” e “o que é estequiometria?”, com o intuito de

levar os alunos a externalizarem seus conhecimentos prévios. As respostas dos alunos foram esquematizadas no quadro na forma de um mapa conceitual (Figura 3).

Figura 3 - Registro da situação inicial



Fonte: A autora (2020)

Nessa atividade foi possível constatar que os alunos possuíam algumas ideias que poderiam servir de âncora para os novos conhecimentos e que conseguiam perceber uma relação entre o conteúdo a ser estudado e o tema a ser utilizado como organizador prévio. Por outro lado, realizando essa atividade de forma oral e em grande grupo, muitos alunos não participaram ativamente e não foi possível obter dados concretos e individualizados para uma posterior avaliação formativa.

Em seguida, a *situação-problema inicial* foi entregue na forma impressa e consistia em duas receitas de bolo (Figura 4), a partir das quais os alunos deveriam responder individualmente às questões propostas, sem orientação da licencianda e previamente à exposição do conteúdo. A última questão (Questão 4), transcrita a seguir, trazia um exemplo simples de ingrediente limitante e em excesso.

Questão 4: Antes de começar a fazer a receita 2, você conferiu se teria ingredientes o suficiente para fazer mais que um bolo. Verificou que ainda tinha 6 xícaras de farinha de trigo e uma dúzia de ovos. Tendo quantidade suficiente dos demais ingredientes, quantos bolos poderá fazer? Qual destes dois ingredientes sobrar?

Figura 4 - Receitas de bolo utilizadas na situação-problema inicial

Receita de bolo 1:

- 4 unidades de gema de ovo
- 4 unidades de clara de ovo batidas em neve
- 2 xícaras (chá) de farinha de trigo
- 1 xícara (chá) de açúcar
- 1 colher (sopa) de fermento químico em pó
- 1 xícara (chá) de água

Porção: 540 g

Receita de bolo 2:

- 2 xícaras (chá) de açúcar
- 3 xícaras (chá) de farinha de trigo
- 4 colheres (sopa) de margarina
- 3 ovos
- 1 e 1/2 xícara (chá) de leite
- 1 colher (sopa) bem cheia de fermento em pó

Fonte: A autora (2020)

Cabe ressaltar que ao utilizar as receitas culinárias como organizadores prévios, estamos não só utilizando os conhecimentos prévios dos alunos como âncora para o novo conhecimento, como também eliminado das questões a necessidade de compreensão da linguagem química, considerada uma das dificuldades marcantes na resolução de problemas. As receitas 1 e 2 foram elaboradas utilizando apenas unidades típicas de culinária sem o uso de unidades de medidas de massa e volume típicos em química, como gramas e mililitros, de modo a facilitar a resolução.

Após a conclusão e correção da atividade referente à situação-problema inicial, teve início a etapa de *aprofundamento do conteúdo*. Nessa etapa foi introduzido o conteúdo propriamente dito através de uma aula expositivo-dialogada, citando a importância deste conhecimento para aplicação na indústria e em laboratórios, utilizando exemplos de reações químicas e fazendo comparações com exemplos culinários.

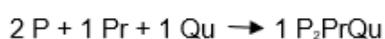
Na Aula 2 foram introduzidos, sob a forma de uma nova situação-problema, os conceitos de reagente em excesso e reagente limitante bem como o uso de unidade de massa (gramas). Isso por que as novas situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade. Nesse momento, foram abordadas situações em que os reagentes não estão em relações estequiométricas, em que um deles pode se consumir completamente antes, destacando semelhanças e diferenças relativamente às situações e aos exemplos nos quais esteja presente o uso de relações algébricas simples, a fim de promover a reconciliação integrativa. Segundo Moreira (2013), devem-se explorar relações entre ideias, conceitos e proposições,

bem como apontar similaridades e diferenças importantes, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes.

Para facilitar a compreensão dos conceitos e dos cálculos, foram utilizados, como organizadores prévios, exemplos simples de receitas. Dadas as quantidades disponíveis de cada ingrediente, os alunos deveriam responder oralmente às questões 1 e 2 apresentadas na Figura 5. As questões foram elaboradas com intuito de que os alunos pudessem reconhecê-las como problemas e modelá-las mentalmente. Após respondidas as questões, foram apresentadas aos alunos formas de resolvê-las matematicamente, para que pudessem aplicar os cálculos em casos em que os valores utilizados não permitissem uma resolução do problema de forma meramente intuitiva. Posteriormente, foi solicitado aos alunos que resolvessem de forma individual e escrita a questão 3 da Figura 5.

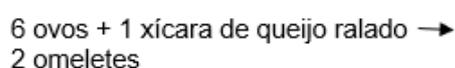
Figura 5 - Receitas e questões utilizadas como organizadores prévios para o ensino de conceitos relacionados a reagente limitante e reagente em excesso

Receita 1: torrada



P = pão; Pr = presunto; Qu = queijo

Receita 2: omeletes



Questão 1. Se, para fazer a receita 1, você tiver 10 fatias de pão, 4 fatias de presunto e 6 fatias de queijo:

- A) Qual é a quantidade máxima de torrada que poderá fazer com estes ingredientes?
- B) Qual é o ingrediente limitante?
- C) Quais são os ingredientes em excesso? Quanto sobrá de cada um deles depois que fizer as torradas?

Questão 2. Se, para fazer a receita 2, tiver 5 ovos e $\frac{1}{2}$ xícara de queijo ralado:

- A) Qual é a quantidade máxima de omelete que poderá fazer com estes ingredientes?
- B) Qual é o ingrediente limitante?
- C) Qual é o ingrediente em excesso? Quanto sobrá dele após fazer a receita?

Questão 3. Sabendo que 6 ovos = 1200 g e 1 xícara de queijo ralado = 50 g, responda aos itens A, B e C da questão 2, desta vez considerando que você possui 600 g de ovos e 30 g de queijo ralado.

Fonte: A autora (2020)

Nesse ponto, na questão 3 foi introduzida a questão de equivalência para a conversão de unidades de medidas. Nos momentos em que os alunos solicitaram a assistência da licencianda para resolver a questão 3, foi possível verificar que, de um

modo geral, não tiveram dificuldades em realizar as conversões de unidades de medida necessárias. Porém, assim como observado durante a resolução das questões 1 e 2, alguns alunos demonstraram certa dificuldade em identificar o reagente limitante.

Em seguida, foi distribuída uma lista de exercícios em que os conceitos abordados eram desenvolvidos no contexto de reações químicas. Nas aulas subsequentes (Aula 3, 4, 5) o conteúdo foi aprofundado em aulas expositivo-dialogadas e abordados os conceitos de pureza de reagentes e rendimento de reações.

Em todas as etapas de aprofundamento do conteúdo foram realizados exercícios selecionados com um nível relativamente avançado de complexidade, visto que o conteúdo é fortemente requerido nas disciplinas subsequentes do curso e de grande importância para a formação técnica. Os exercícios foram disponibilizados aos alunos em três listas impressas, contendo aproximadamente 20 exercícios cada, além de uma lista complementar onde os conceitos trabalhados eram aplicados conjuntamente. Foi disponibilizado tempo de aula para o esclarecimento de dúvidas e para a resolução de exercícios por parte dos alunos, sendo possível solicitar o auxílio da professora quando necessário.

Por fim, na Aula 6 foi realizada uma avaliação final individual. Entre as questões a serem respondidas, foram incluídas: uma questão envolvendo excesso e limitante com exemplo de culinária; e uma questão envolvendo os mesmos conceitos aplicados a uma reação química (Figura 6) para que ao final da unidade foi possível comparar a resolução dos dois modelos de questões.

Figura 6 - Questões da prova envolvendo reagente em excesso e limitante

9. Pesando em uma balança de cozinha os ingredientes disponíveis, você verificou que possui 156 g de ovos, 250 g de leite, além de 2 latas de leite condensado. A partir destes ingredientes, será possível fazer um pudim de até quantos gramas, seguindo a receita abaixo? (0,8 pt)

Receita de pudim (890g):

1 lata de leite condensado

1 xícara de leite (300 g)

3 ovos (195 g)

10. O sulfato de bário é usado como contraste em exames radiológicos e pode ser obtido pela reação de cloreto de bário com ácido sulfúrico. Se forem adicionados 150 g de cloreto de bário a uma solução contendo 80 g de ácido sulfúrico, qual será a massa de sulfato de bário produzida? (0,8 pt)

6.2.1 Análise das questões

Como a UEPS demanda uma avaliação formativa processual, foram coletados dados para análise em dois momentos distintos, com foco na avaliação da resolução das questões envolvendo conceitos de reagente limitante e reagente em excesso com: situação-problema inicial (Q14 – receitas de bolo 2) e questões da prova (Q9 – Receita de pudim e Q10 - cálculo convencional).

A situação-problema inicial foi aplicada previamente à etapa de aprofundamento do conteúdo e os alunos não receberam orientação sobre como resolvê-la. Os resultados apresentados na Tabela 2 são oriundos da etapa de exploração do material, na qual foram definidas as unidades de contexto que, segundo Bardin (2016), permitem compreender a significação dos itens obtidos usando análise categorial.

Considerando-se a totalidade das questões, foi possível determinar os critérios de classificação que são suscetíveis de fazer sentido (ou elementos de significação) em relação ao que se deseja encontrar. Utilizou-se como regra de base para a *definição das categorias analíticas* o modelo misto (categorias pré-definidas que estão sujeitas à alteração ao decorrer da análise). Dessa forma, as cinco categorias analíticas estabelecidas que compõem o grupo são:

a) *Resolveu corretamente*: Alunos que desenvolveram corretamente a questão, apresentando o resultado final esperado.

b) *Resolveu incorretamente*: Alunos que não souberam desenvolver corretamente a questão e não apresentaram o resultado final esperado.

c) *Não resolveu*: Alunos que não apresentaram nenhum desenvolvimento da questão e não apresentaram o resultado final esperado.

d) *Resolveu parcialmente*: Alunos que desenvolveram corretamente a questão, mas cometeram algum pequeno erro que gerou um resultado diferente do esperado (por exemplo, erro de digitação na calculadora ou de extração de algum dado do enunciado)

e) *Não participou da atividade*: Alunos que não estavam presentes na aula em que a atividade foi realizada.

A regra de enumeração utilizada foi a frequência, uma vez que “a importância de uma unidade registro aumenta com a frequência de aparição.” (Bardin, 2016, p. 138).

Tabela 2 - Resultados obtidos nas questões envolvendo conceito de reagente limitante

Aluno	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	% acerto
QI4 ¹	NR	C	C	C	NR	C	C	C	C	C	C	C	C	P	P	NP	NP	C	NP	C	76,5
QP9 ²	C	I	C	C	I	I	C	C	C	C	I	I	C	I	C	C	NR	C	NR	C	60,0
QP10 ³	C	C	C	I	C	I	I	C	C	C	I	I	I	C	C	C	I	C	I	NR	55,0

(1) Questão 4 da situação-problema inicial (Questão envolvendo exemplo culinário)

(2) Questão 9 da prova (Questão envolvendo exemplo culinário)

(3) Questão 10 da prova (Questão envolvendo exemplo de reação química)

C: Resolveu corretamente

I: Resolveu incorretamente

NR: Não resolveu

P: Resolveu parcialmente

NP: Não participou da atividade

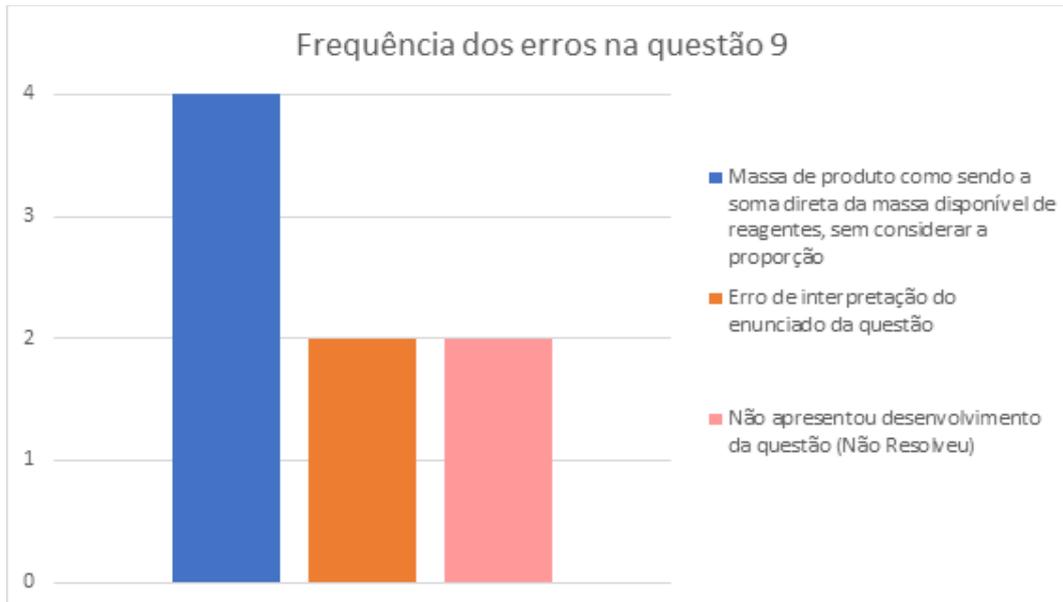
Fonte: A autora (2020)

Na análise da situação-problema inicial 76,5% dos alunos que participaram da atividade compõe a categoria *Resolveu corretamente* e souberam resolver corretamente o item envolvendo conceito de limitante e excesso com receita de bolo (Questão 4). O alto percentual de acertos pode estar relacionado com a simplicidade da questão, mas, por outro lado, demonstra que a maior parte dos alunos já possuía em sua estrutura cognitiva os conhecimentos prévios relevantes para estabelecer as relações com o material de aprendizagem de maneira não-arbitrária e não-literal, possibilitando assim traçar o caminho para uma aprendizagem significativa.

Na análise das questões da prova, além de contabilizar o percentual de acertos, buscou-se identificar as causas de erro e as estratégias (ou métodos) para resolução tanto da questão 9 da prova (questão sobre pudim), quanto da questão 10 (questão convencional). Para isso realizou-se uma análise de cada prova (APÊNDICE C) e o tipo de resolução apresentada foi classificada como Método A ou Método B, conforme apresentado na metodologia.

Sobre a questão envolvendo ingredientes culinários (Questão 9), a Figura 7 apresenta a frequência que os diferentes tipos de erros foram cometidos pelos 8 alunos que não foram alocados na categoria *resolveu corretamente*.

Figura 7 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma piloto na resolução da questão com ingredientes culinários



Fonte: A autora (2020)

Para exemplificar a categorização apresentada, na análise da questão 9 (Figura 8), a aluna E não considerou que haveria ingrediente limitante e em excesso, apenas somou as massas fornecidas no enunciado da questão.

Figura 8 - Resolução da questão 9 da prova pela aluna E

9. Pesando em uma balança de cozinha os ingredientes disponíveis, você verificou que possui 156 g de ovos, 250 g de leite, além de 2 latas de leite condensado. A partir destes ingredientes, será possível fazer um pudim de até quantos gramas, seguindo a receita abaixo? (0,8 pt)

Receita de pudim (890g):

1 lata de leite condensado ^{395g}

1 xícara de leite (300 g)

3 ovos (195 g)

Resolva

156g Ovos

250g Leite

2 Latas L.C.

^{395g}
1 lata + 300g l + 195g ov = 890g

2 latas + 250g l + 156g O =

490

Pudim de 1,196g ✗

Fonte: A autora (2020)

Da mesma forma, o aluno F (Figura 9) não identificou o ingrediente limitante e não considerou corretamente a proporção da receita. Calculou a quantidade necessária de leite para a quantidade fornecida de ovos e vice-versa (método A), porém não utilizou os resultados para identificar o limitante, e sim somou estes valores com a quantidade de leite condensado dada na receita original para obter a massa de pudim.

Figura 9 - Resolução da questão 9 da prova pelo aluno F

quantos gramas, seguindo a receita abaixo? (0,8 pt)

1. Leite 300g — 195g ovos = 162,5g ovos
 250g — x

1995 — 300g Leite
 156 — x 240

405g
 + 395
 800g

162,5g ovos
 240g leite
 2 latas de leite

405g gramas

Fonte: A autora (2020)

Em comparação, os alunos que responderam corretamente resolveram a questão de duas formas diferentes. A aluna A (Figura 10) por exemplo, calculou a quantidade necessária de ovos para a quantidade dada de leite e vice-versa, indicando corretamente o ingrediente limitante, e calculou, utilizando regra de três, a quantidade de pudim obtida a partir deste ingrediente (ovos), o que foi classificado como Método A.

Figura 10 - Resolução da questão 9 da prova pela aluna A

xg pudim — 156g ovos
 890g pudim — 195g ovos
 $x = 712g$ de pudim //

9. Pesando em uma balança de cozinha os ingredientes disponíveis, você verificou que possui 156 g de ovos, 250 g de leite, além de 2 latas de leite condensado. A partir destes ingredientes, será possível fazer um pudim de até quantos gramas, seguindo a receita abaixo? (0,8 pt)

Receita de pudim (890g):

2 1 lata de leite condensado
 250g 1 xícara de leite (300 g)
 156g 3 ovos (195 g)

156g ovos — xg leite
 195g ovos — 300g
 $x = 240g$ leite //
 ↳ excesso

x ovos — 250g leite
 195g // — 300g leite
 $x = 162,5g$ ovos
 ↳ limitante

Fonte: A autora (2020)

A Aluna C (Figura 11), por sua vez, calculou a quantidade de pudim que seria obtida relacionada à quantidade dada de leite e que seria obtida considerando a quantidade dada de ovos. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado e, portanto, os ovos seriam o ingrediente limitante. Esta forma de resolução da questão foi classificada como Método B.

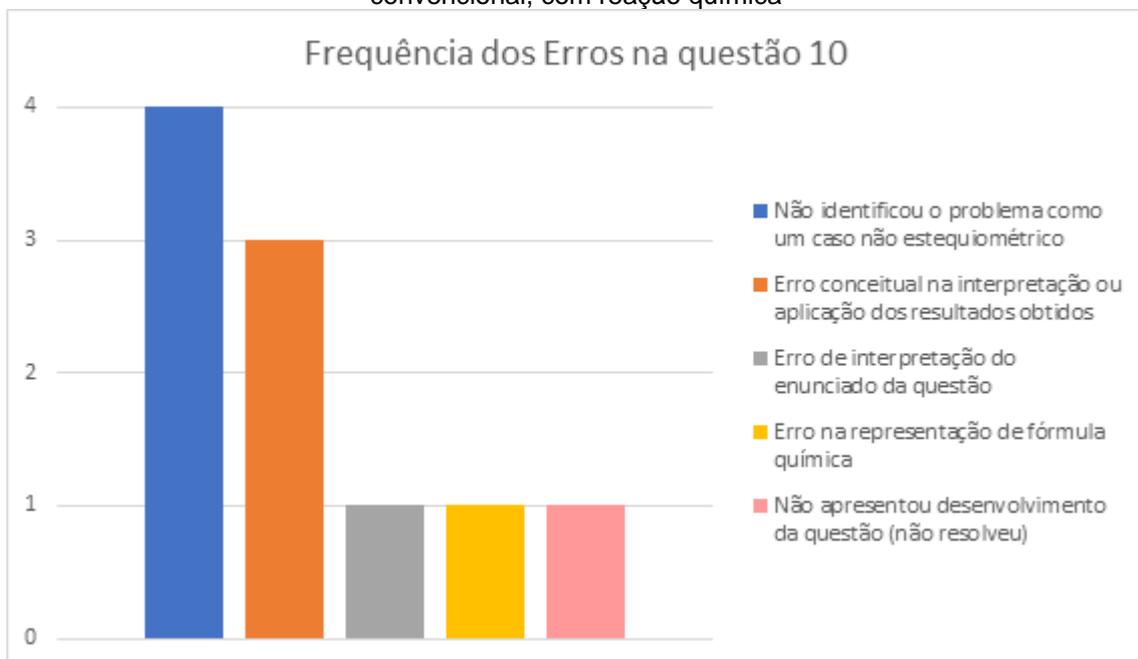
Figura 11 - Resolução da questão 9 da prova pela aluna C

$$\begin{array}{l}
 890g \text{ pudim} \text{ --- } 195g \text{ ovos} \quad 890g \text{ pud.} \text{ --- } 300g \text{ leite} \\
 x \quad \quad \quad \text{--- } 156g \text{ " } \quad \quad x \quad \quad \quad \text{--- } 250g \text{ " } \\
 \\
 x = 712g \text{ pudim, " } \\
 \\
 \hookrightarrow \text{poderá ser feito um pudim de} \\
 \text{até } 712g \text{ (ovos são os limitantes)}
 \end{array}$$

Fonte: A autora (2020)

Já na análise na questão convencional, envolvendo reação química (Questão 10), também foi observado que alguns tipos de erro foram identificados em diversas provas. A Figura 12 apresenta a frequência que o mesmo tipo de erro foi cometido por diferentes alunos, considerando a análise das questões dos 9 alunos que não estão categorizados como *resolveu corretamente*. O mesmo aluno pode ter cometido mais de um tipo de erro na questão.

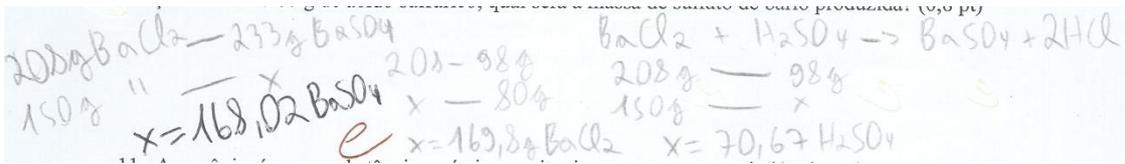
Figura 12 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma piloto na resolução da questão convencional, com reação química



Fonte: A autora (2020)

Na análise da questão 10, a aluna D (Figura 13) calculou a quantidade necessária de cloreto de bário para a quantidade fornecida de ácido sulfúrico e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante (método A). Porém, calculou a

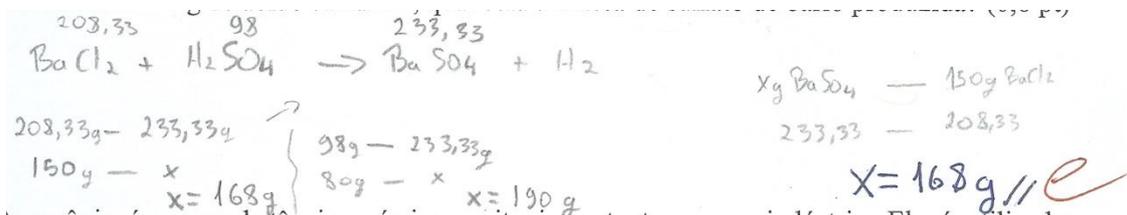
Figura 15 - Resolução da questão 10 da prova pelo aluno O



Fonte: A autora (2020)

O método B foi aplicado pelo aluno R (Figura 16), que calculou a quantidade de produto que seria formada a partir da massa fornecida de cada um dos reagentes e considerou o menor valor encontrado como o efetivamente gerado.

Figura 16 - Resolução da questão 10 da prova pelo aluno R



Fonte: A autora (2020)

Ao comparar o resultado da situação problema inicial em relação às questões da prova envolvendo os mesmos conceitos, os alunos apresentaram um percentual de acertos de 60% naquela que envolvia exemplo de culinária (Questão 9) e de 55% na que envolvia reação química (Questão 10). Os percentuais de acertos menores em relação ao da situação-problema inicial (76,5%) podem estar relacionados ao fato de que a prova envolveu um número maior de questões, disponibilizando aos alunos um tempo menor para a resolução de cada uma delas, e à maior complexidade destes enunciados.

Le Maire et. al (2018) afirmam que a complexidade do vocabulário químico associado a problemas estequiométricos pode impedir que os alunos usem operações matemáticas simples para resolvê-los. Na Questão 9, podemos constatar que o problema apresentado, utilizando ingredientes e unidades conhecidas e simples, englobou majoritariamente a linguagem matemática (aritmética e proporção), e física (unidades de medida), eliminando a necessidade de trabalhar com a linguagem química, como exposto por Pio (2006 *apud* DA COSTA; SOUZA, 2013).

Levando em consideração que as questões 9 e 10 foram respondidas corretamente por um número muito próximo de alunos, podemos dizer que o tipo de

linguagem utilizada (química ou culinária) não teve impacto significativo na taxa de sucesso. De forma semelhante, no estudo realizado por Dos Santos e Da Silva (2014), foi observado que a dificuldade dos participantes em traduzir determinada equação química independia da forma de expressão desta (simbólica ou textual).

Ainda no mesmo estudo, os autores identificaram que, apesar de terem tido contato com o conceito de estequiometria no ensino médio, os alunos do ensino superior não demonstram compreensão da relação do nível macroscópico com o nível microscópico dos fenômenos, o que dificulta a atribuição de significados de uma equação química e a compreensão do conceito de quantidade de matéria (DOS SANTOS; DA SILVA, 2014). Esse dado também se assemelha ao observado no nosso estudo, uma vez que, apesar das dificuldades em estequiometria serem amplamente relatadas em alunos do Ensino Médio, também foram sinalizadas nessa turma de ensino técnico pós-médio.

Entre os erros mais comuns cometidos pelos alunos ao determinar a quantidade de produto que são apontadas por Sostarecz e Sostarecz (2012), dois deles também foram os mais observados na análise das provas: calcular a quantidade de produto como sendo um somatório das quantidades de reagentes e; não perceber que há algum excesso de reagente no final da reação. O primeiro deles, apesar de não ter sido observado na questão convencional, foi o mais frequente na questão com exemplo culinário. O segundo, por sua vez, foi cometido, direta ou indiretamente, tanto pelos alunos que somaram a massa disponível dos ingredientes para obter a massa de pudim quanto por aqueles que, na questão com reação química, não identificaram o problema como um caso não estequiométrico, ou seja, não consideraram que os dados apresentados no enunciado se traduziam em uma condição reacional não estequiométrica.

Outra dificuldade que foi observada em ambas as questões da prova foi de interpretação do enunciado da questão. Quanto a esse tipo de dificuldade, Costa e Souza (2013) afirmam que:

Além de não conseguirem relacionar grandezas e compreender o enunciado da questão, para fazer os cálculos, os alunos provavelmente memorizam, de uma maneira mecânica, os passos que o professor realiza ao resolver o problema. Assim, os alunos passam mais tempo decorando do que tentando entender os conteúdos e interpretar as situações.(COSTA;SOUZA, 2013).

Esta lacuna, que é apresentada quando os alunos não priorizam entender os conteúdos e interpretar as situações, também aparenta ter sido uma causa de erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos pelos próprios alunos no desenvolvimento da questão convencional, sendo o segundo obstáculo mais frequente nessa questão.

6.2.2 Avaliação da UEPS

Finalmente buscou-se realizar avaliação da UEPS pelos alunos por meio de uma questão aberta: “Aponte os aspectos positivos e negativos na unidade de ensino utilizada para o desenvolvimento do conteúdo de estequiometria durante o período de estágio”.

A maior parte dos alunos acabou entendendo a questão como uma avaliação da prática docente, apontando apenas características da professora durante a regência em sala de aula, o que culminou em uma quantidade pequena de dados sobre as impressões dos alunos respeito da unidade de ensino utilizada.

Entre os cinco alunos que apresentaram opiniões relacionadas às estratégias didáticas utilizadas, dois levantaram como aspectos positivos que as aulas foram dinâmicas, com exemplos simples/alusões a práticas do dia a dia. Um aluno apontou que “A metodologia inicial foi interessante (receitas), porém, poderia ser dificultado mais os exemplos para um melhor entendimento. [...] Bom material de exercício”, um aluno apontou que a didática proposta foi interessante e sugeriu desenvolver melhor as questões escritas, e outro afirmou que “A quantidade de exercícios foi muito boa, mas tive dificuldades em aprender o conteúdo”. Considerando estes dados, é possível perceber que os alunos avaliaram positivamente a estratégia de utilização de exemplos culinários como organizadores prévios.

6.3 Análise do estudo final

Ao finalizar o estudo piloto percebeu-se a oportunidade de expandir a UEPS para abordagem não só dos conceitos de reagente em excesso e limitante, e englobar também outros conceitos como pureza e rendimento da reação. Dessa forma todos os conceitos que estavam previstos no cronograma da disciplina para serem abordados na *Unidade Cálculo estequiométrico* foram contemplados. Além disso

percebeu-se uma lacuna na coleta de dados do estudo piloto, que privilegiou exclusivamente a análise dos cálculos realizados pelos alunos. Assim a UEPS foi reformulada e aplicada novamente no semestre seguinte. No estudo final foram incluídos dois novos instrumentos de coleta de dados: o mapa conceitual inicial, que foi construído em grupos anteriormente à exposição do conteúdo, e o mapa conceitual final, que foi construído por estes mesmos grupos como uma das atividades finais.

Assim a UEPS na Aula 1, como situação inicial que objetiva que o aluno externalize seus conhecimentos prévios em relação ao conteúdo, foi realizada uma atividade colaborativa em pequenos grupos para a construção de um mapa conceitual partindo da palavra central: “estequiometria”. Esse mapa conceitual foi apresentado ao grande grupo e serviu como base para a avaliação formativa. Para auxiliar os alunos nessa construção, foi dada uma breve explicação sobre o que é um mapa conceitual, qual o objetivo da atividade e um exemplo de como construí-lo partindo de outra palavra central. Após elaboração do mapa conceitual inicial, as demais atividades seguiram a mesma estrutura do estudo piloto, com a resolução da situação problema inicial envolvendo ingredientes culinários, aula expositiva para aprofundamento do conteúdo com organizadores prévios e resolução de cálculos. Nessa aula foram abordados os conceitos mais gerais e abrangentes do conteúdo a ser trabalhado, portanto foram citados exemplos de aplicação do cálculo estequiométrico, foram retomadas a Lei de Lavoisier ou Lei de Conservação das Massas e a Lei de Proust ou Lei das Proporções Constantes e foram apresentados diferentes tipos de relações que podem ser utilizadas para o desenvolvimento dos cálculos (relações molares, relações mol/massa, relações massa/massa, relações massa/volume com aplicação da Lei dos gases ideais).

Na Aula 2 foi apresentada nova situação problema envolvendo o conceito de relações não estequiométricas e realizou-se uma atividade com o simulador interativo gratuito do Portal PhET², no laboratório de informática da escola. Nessa tarefa, os alunos devem ter à disposição diferentes quantidades de reagentes/ingredientes e, com o auxílio da ilustração, pode-se verificar qual a quantidade máxima de produto a ser obtida, qual(is) reagente(s)/ingrediente(s) está(ão) em excesso e qual deles está

² https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/reactants-products-and-leftovers

limitando a formação de produto, atentando-se ao rearranjo dos átomos nas moléculas ocorrido na reação química.

Os alunos foram convidados a jogar os diferentes níveis do jogo disponíveis no simulador, e foram instigados a utilizar também as opções de ocultar moléculas e ocultar os números. Na Figura 17, tem-se um exemplo do uso dos ingredientes culinários, empregados nessa proposta como organizadores prévios. Essa atividade passou a compor a UEPS uma vez que o uso de analogias ilustradas é recomendado por Gafoor e Shilna (2012), pois faz uma ponte entre um conceito abstrato e os conhecimentos prévios dos alunos.

Figura 17 - Atividade com simulação para reagentes em excesso e limitantes



Fonte: PhET Interactive Simulations (2020)

Na Aulas 3, 4 e 5 ocorreu o aprofundamento do conteúdo abordando os conceitos de pureza de reagentes e rendimento de reações químicas, sendo que na Aula 4, ao abordar o conteúdo rendimento de reação, foi realizada uma atividade prática demonstrativa (Figura 18) usando novamente um exemplo culinário como analogia para um conceito químico, no intuito de que atue como um organizador prévio.

Figura 18 - Atividade prática com pipocas como analogia ao rendimento de reações

Atividade: Solicitar aos alunos que separem 50 grãos de milho de pipoca e os insiram pipoqueira elétrica. Depois que a pipoca terminar de estourar, deverão contar a quantidade de grãos que estourou e que não estourou para em seguida:

1. Calcular o rendimento percentual do "processo".
2. Considerando este rendimento, calcular a quantidade de milho que deveria ser colocada na pipoqueira para ter 50 grãos de pipoca estourada.

Fonte: A autora (2020)

Na Aula 6, dedicada à avaliação da aprendizagem, foram realizadas a construção de mapa conceitual, resolução de uma questão desafio (exercício avaliativo com consulta, que abrange todos os conteúdos desenvolvidos na unidade

de estequiometria em um problema contextualizado) e avaliação da UEPS por parte dos alunos. Na aula 7 a aplicação de uma prova constitui a avaliação somativa individual e por fim, na aula 8 realizou-se uma aula para resolução de dúvidas referentes à avaliação.

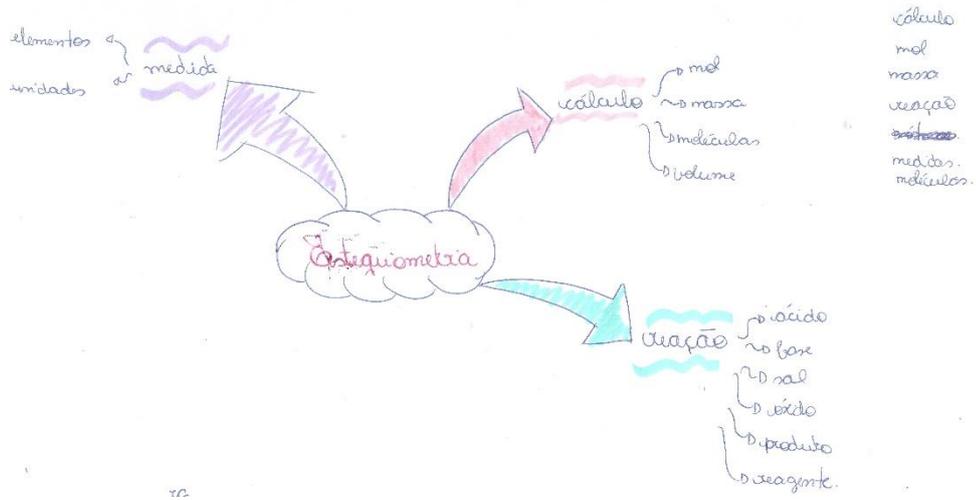
6.3.1 Análise comparativas dos mapas conceituais

Uma vez que o conteúdo de estequiometria é normalmente abordado em aulas de química do Ensino Médio, já era esperado que os alunos possuíssem algum conhecimento prévio sobre o assunto. Realizando a construção de mapas nesses dois momentos distintos da UEPS, objetivou-se estimular os alunos a externalizarem de forma organizada os seus conhecimentos sobre o conteúdo e identificar, por meio de análise comparativa das produções, possíveis evidências de aprendizagem significativa.

Na Aula 1 foi realizada uma atividade colaborativa em pequenos grupos para a construção de um mapa conceitual partindo da palavra central: “estequiometria”. Para auxiliar os alunos nessa construção, foi dada uma breve explicação sobre o que é um mapa conceitual, qual o objetivo da atividade e um exemplo de como construí-lo partindo de outra palavra central. Na aula 6, mantidos os mesmos grupos da construção do mapa conceitual inicial (situação inicial) para que estes pudessem ser comparados na busca de evidências de aprendizagem significativa, solicitou-se a construção de novos mapas conceituais (mapa conceitual final) sobre o tema. Os alunos receberam novamente instruções prévias sobre a construção do mapa o objetivo da atividade.

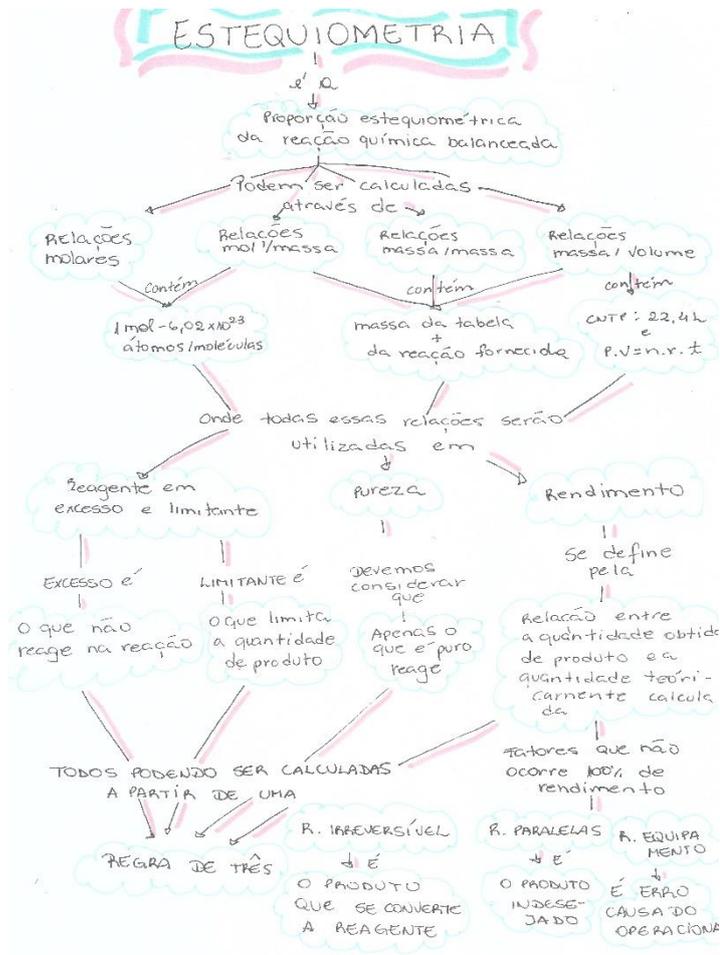
Os mapas conceituais inicial e final produzidos pelo grupo 1 são apresentados nas Figuras 19 e 20, respectivamente. No mapa conceitual inicial produzido pelo grupo 1 (Figura 19), os alunos apresentaram conhecimentos prévios relevantes para o desenvolvimento do conteúdo. Observa-se uma pequena hierarquização de conceitos, destacando como conceitos principais relacionados à estequiometria os termos “medida”, “cálculo” e “reação”, que podemos correlacionar com os aspectos físicos, matemáticos e químicos do estudo de estequiometria.

Figura 19 - Mapa conceitual inicial do grupo 1



Fonte: A autora (2020)

Figura 20 - Mapa conceitual final do grupo 1



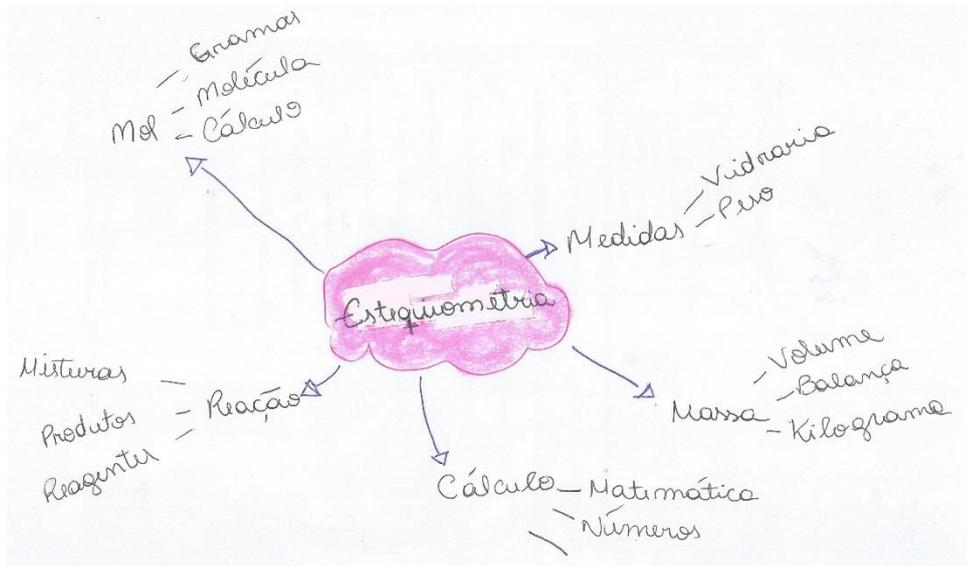
Fonte: A autora (2020)

No mapa conceitual final do grupo 1 (Figura 20), a maior parte dos termos presentes no mapa conceitual inicial voltaram a aparecer, dessa vez relacionados a

uma grande quantidade de novos conceitos. De acordo com Moreira (2011), a diferenciação progressiva, do ponto de vista cognitivo, é justamente o que ocorre com um subsunçor quando serve de ancoradouro para novos conceitos, diferenciando os conceitos do mais geral para o mais específico. Além dessa incorporação de novos conceitos, caracterizando uma diferenciação progressiva, podemos observar que os alunos distribuíram estes conceitos de uma forma hierárquica corretamente organizada, com uso de conectores, partindo de conceitos mais gerais e inclusivos da matéria e relacionando estes com conceitos mais específicos, como por exemplo, ao descrever que os diferentes tipos de relações (como relações molares e mol/massa) e as diferentes constantes (número de Avogadro e Equação de Clapeyron) são aplicáveis para as situações mais específicas, onde são consideradas a pureza dos reagentes, a presença de reagente limitante/em excesso e o rendimento das reações químicas. Quando se estabelecem relações, reorganizações ou atribuição de novos significados aos conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva, é que ocorre a reconciliação integrativa, sob o ponto de vista da organização cognitiva (MOREIRA, 2011). Portanto, essa reorganização de conceitos prévios e novos apresentada no mapa conceitual evidencia que a diferenciação progressiva ocorreu acompanhada de uma reconciliação integrativa.

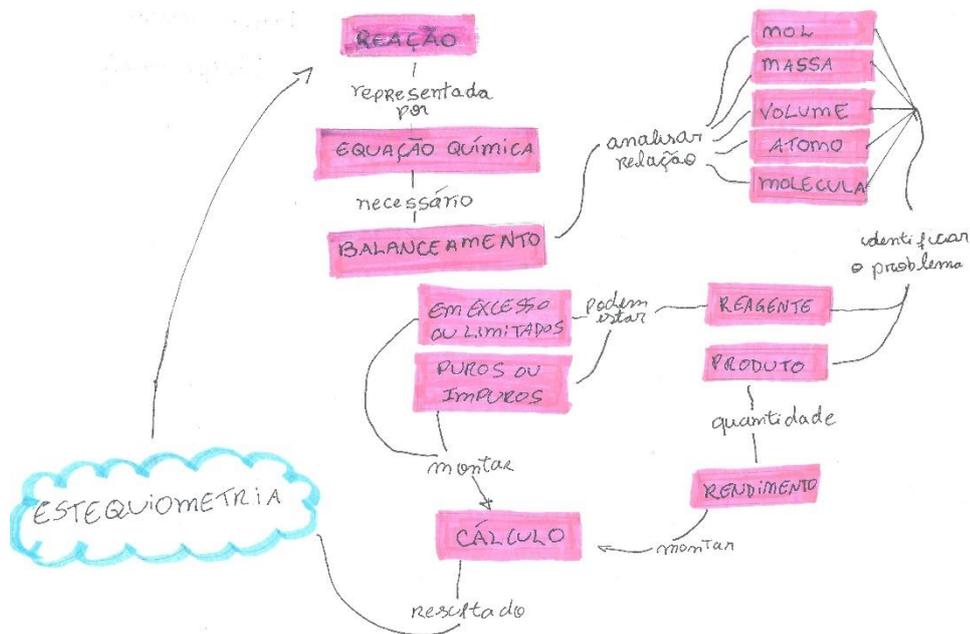
Os mapas conceituais inicial e final produzidos pelo grupo 2 são apresentados nas Figuras 21 e 22, respectivamente. O mapa conceitual inicial do grupo 2 (Figura 21) apresentou uma estrutura bastante semelhante ao do grupo 1, somando como termos em destaque as palavras “mol” e “massa”. Nas ramificações ligadas a estes dois termos, fica indefinida a relação estabelecida entre as diferentes grandezas e unidades de medida. Neste mapa, identificam-se entre as palavras dois instrumentos de laboratório (vidraria e balança), que podem estar relacionados a alguma atividade prática com a qual os alunos tenham tido contato para o estudo de estequiometria.

Figura 21 - Mapa conceitual inicial do grupo 2



Fonte: A autora (2020)

Figura 22 - Mapa conceitual final do grupo 2



Fonte: A autora (2020)

No mapa conceitual final apresentado na Figura 22, o grupo 2 conseguiu estabelecer uma relação mais organizada entre os termos, com uso de conectores, além de incorporar conceitos novos, embora a ausência de algumas setas e a forma que o mapa foi construído não deixe totalmente claro o sentido da leitura e os conceitos considerados pelos alunos como principais. Podemos observar que,

diferentemente do que foi apresentado no mapa conceitual inicial, no mapa conceitual final os vocábulos mol, massa, volume, átomo e molécula apareceram dentro de uma mesma ramificação, demonstrando uma maior clareza a respeito das grandezas que representam uma determinada quantidade de matéria. Também se verifica que os conceitos novos de “limitante e excesso” e “puros ou impuros” estão corretamente relacionados com reagentes, enquanto que “rendimento” se relaciona diretamente com a quantidade de produto.

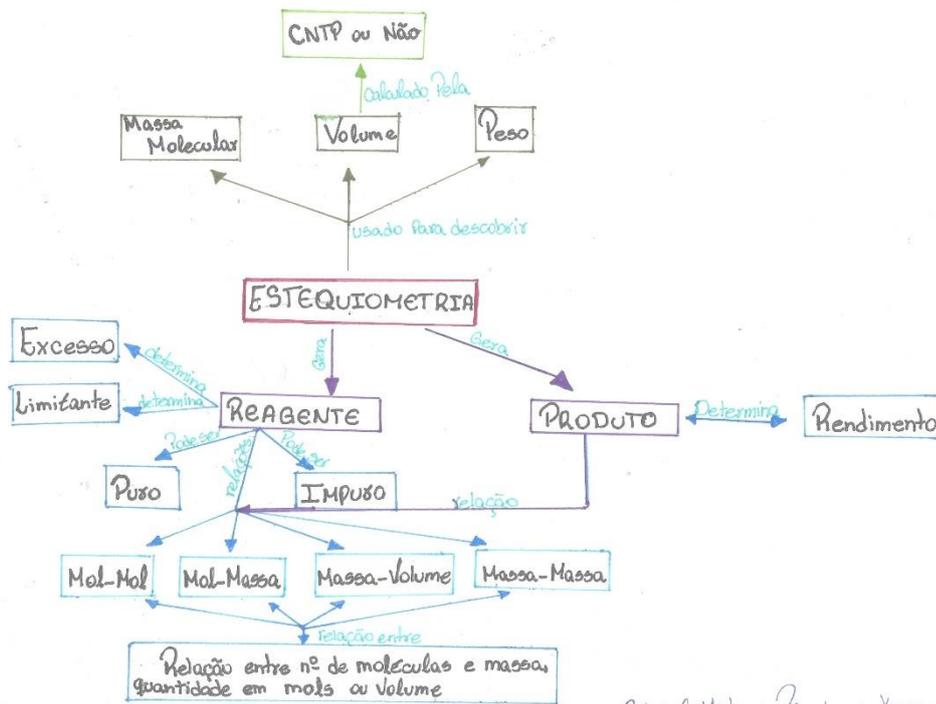
Nas Figuras 23 e 24, são apresentados, respectivamente, os mapas conceituais inicial e final produzidos pelo grupo 3. Assim como nas produções dos grupos 1 e 2, no mapa conceitual inicial do grupo 3 (figura 23) os aspectos físicos, químicos e matemáticos apareceram em destaque através dos termos “medidas”, “reações” e “cálculos”. Embora os alunos tenham relacionado corretamente diferentes grandezas ao termo “medidas”, verifica-se aqui uma pequena confusão entre os termos físicos, quando a palavra “gramas” é colocada como uma ramificação diferente de “massa”, ao invés de ser considerada como uma unidade de medida desta grandeza.

Figura 23 - Mapa conceitual inicial do grupo 3



Fonte: A autora (2020)

Figura 24 - Mapa conceitual final do grupo 3

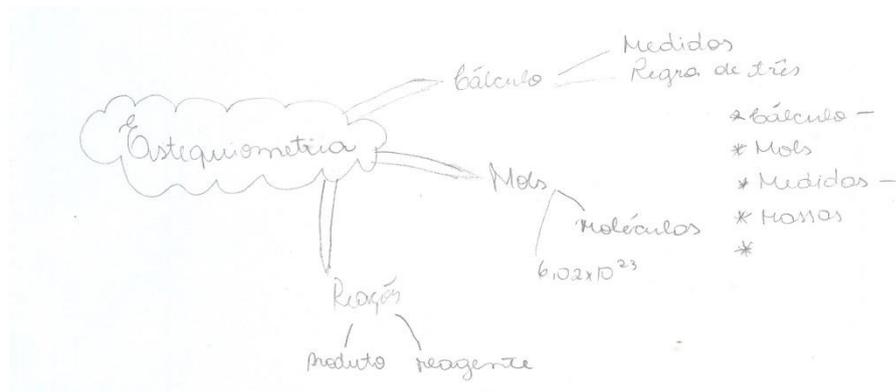


Fonte: A autora (2020)

Um equívoco acerca da linguagem física também aparece no mapa conceitual final deste grupo (Figura 24), quando descrevem que a estequiometria é usada para descobrir o “peso”, querendo se referir a massa. No mapa conceitual final deste grupo também foram incorporados novos termos, em comparação ao mapa inicial, e descritas relações corretas entre estes.

O mapa conceitual inicial produzido pelo grupo 4 é apresentado na Figura 25 e o mapa conceitual final do mesmo grupo aparece na Figura 26. No mapa conceitual inicial (Figura 25) é apresentada uma quantidade menor de termos em relação aos mapas dos demais grupos, mas pode-se destacar esse como o único mapa conceitual inicial em que é identificado o termo “regra de três”, expondo uma familiaridade dos alunos com o uso desta ferramenta matemática para resolução dos problemas de estequiometria. Também é o único exemplo de menção ao Número de Avogadro na produção inicial.

Figura 25 - Mapa conceitual inicial do grupo 4



Fonte: A autora (2020)

Figura 26 - Mapa conceitual final do grupo 4



Fonte: A autora (2020)

Já no mapa conceitual final (Figura 26), um número maior de termos é apresentado. Apesar de não terem exibido uso de conectores que deixassem mais evidente a clareza conceitual dos alunos a respeito do tema (talvez por possuir pouca prática neste tipo de atividade), o grupo soube distribuir os conceitos de uma forma visualmente organizada. Observa-se uma incoerência conceitual quando os alunos apresentam “pureza” e “rendimento” como ramificações do conceito “excesso e limitante”, que por sua vez está corretamente relacionado ao termo “reagente”. Por outro lado, observa-se que os termos que apareciam encerrando as ramificações no mapa conceitual inicial (como por exemplo, “produto” e “reagente”) aparecem no mapa

conceitual final sob uma organização hierárquica e ligados a outros termos, podendo ser considerado também um bom exemplo de aprendizagem que resultou em diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

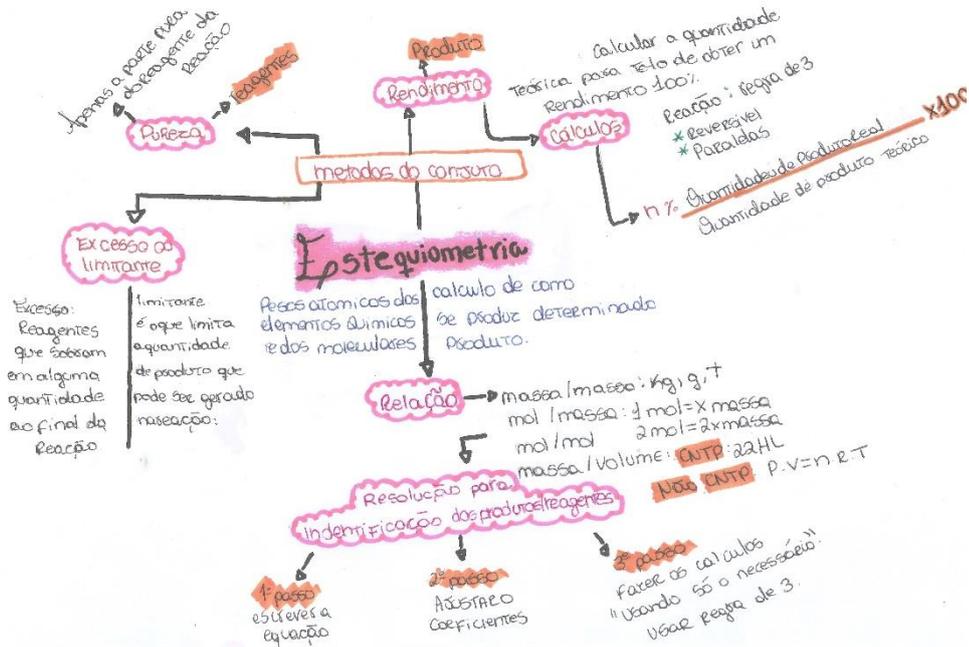
Os mapas conceituais inicial e final produzidos pelo grupo 5 são apresentados nas Figuras 27 e 28, respectivamente. No mapa conceitual inicial (Figura 27), os alunos do grupo 5 citaram, entre outras, as palavras “gasolina” e “etanol”, fazendo referência à proporção estequiométrica destes dois componentes em combustível para veículos. Chama a atenção que esse foi único grupo que apresentou um exemplo de contextualização a respeito do tópico, o que leva a crer que a abordagem contextualizada foi pouco experienciada pelos alunos desta turma para a aprendizagem deste tópico durante o Ensino Médio.

Figura 27 - Mapa conceitual inicial do grupo 5



Fonte: A autora (2020)

Figura 29 - Mapa conceitual final do grupo 6



Fonte: A autora (2020)

De um modo geral, observou-se nos mapas conceituais iniciais a presença de termos gerais relacionados à estequiometria, caracterizando conhecimentos prévios relevantes para o desenvolvimento da unidade de ensino. A maior parte destes termos foi visualizada novamente nos mapas conceituais finais, como subsunçores para novos conceitos e novas relações. Os conceitos mais específicos que foram trabalhados ao longo da UEPS, como pureza de reagentes, rendimento de reações e reagente limitante, não apareceram em nenhum dos mapas iniciais e foram citados em todos os mapas finais, acompanhados de outros termos e em mapas mais organizados (com uso de conectores e/ou distribuição hierárquica de conceitos e/ou com maior descrição), podendo-se dizer que foram identificadas evidências de aprendizagem significativa realizando a análise comparativa das produções.

6.3.2 Análise das questões

Assim como no estudo piloto, na prova aplicada no estudo final foram incluídas, entre as questões a serem respondidas, uma questão envolvendo excesso e limitante

com exemplo de culinária e uma questão envolvendo os mesmos conceitos aplicados a uma reação química (Figura 30).

Figura 30 - Questões da prova envolvendo reagente em excesso e limitante (estudo final)

7. Antes de fazer *mousse* de chocolate, você verificou se teria em casa os ingredientes necessários. Encontrou 6 ovos, uma barra de 92 g de chocolate meio amargo, 4 sachês de 5 g (cada) de açúcar e 80 g de creme de leite. Quantos gramas de *mousse* você conseguirá fazer, no máximo, seguindo a proporção da receita abaixo? (0,95 pt)

Mousse de chocolate (670 g):

3 ovos

250 g de chocolate meio amargo

20 g de açúcar (2 colheres de sopa)

200 g de creme de leite (1 lata)

8. Nas estações de tratamento de água, eliminam-se as impurezas sólidas em suspensão através do arraste por flóculos de hidróxido de alumínio, produzidos na reação entre sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio. Se forem misturados 80 g de sulfato de alumínio e 50 g de hidróxido de cálcio, qual será a massa de hidróxido de alumínio produzida? (0,95 pt)

Fonte: A autora (2020)

De forma análoga à análise realizada no estudo piloto, as respostas dos alunos na situação-problema inicial (QI4 – receitas de bolo 2) e nas questões da prova (Q7 – Receita de *mousse* e Q8 - cálculo convencional) da situação problema inicial foram analisadas e classificadas com as mesmas cinco categorias analíticas: *Resolveu corretamente*, *Resolveu incorretamente*, *Não resolveu*, *Resolveu parcialmente*, *Não participou da atividade* (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados obtidos nas questões envolvendo conceito de reagente limitante (estudo final)

Aluno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	% acerto
QI4 ¹	NR	C	C	C	C	NR	NR	C	P	C	NR	NP	C	I	C	C	P	C	C	NP	NR	C	C	61,9
QP7 ²	I	C	C	C	C	NR	I	I	C	C	I	I	I	C	P	I	C	I	C	P	C	I	C	47,8
QP8 ³	I	I	P	C	C	NR	I	I	I	C	C	I	C	NR	NR	C	C	I	P	C	C	NR	I	39,1

(¹) Questão 4 da situação-problema inicial (Questão envolvendo exemplo culinário)

(²) Questão 7 da prova (Questão envolvendo exemplo culinário)

(³) Questão 8 da prova (Questão envolvendo exemplo de reação química)

Fonte: A autora (2020)

Analisando o percentual de alunos, entre os que participaram da atividade, que resolveu corretamente a Questão 4 da situação-problema inicial, podemos observar que foi menor em comparação ao mesmo dado do estudo piloto. Isso demonstra uma maior dificuldade prévia destes alunos em aplicar cálculos de proporções quando um

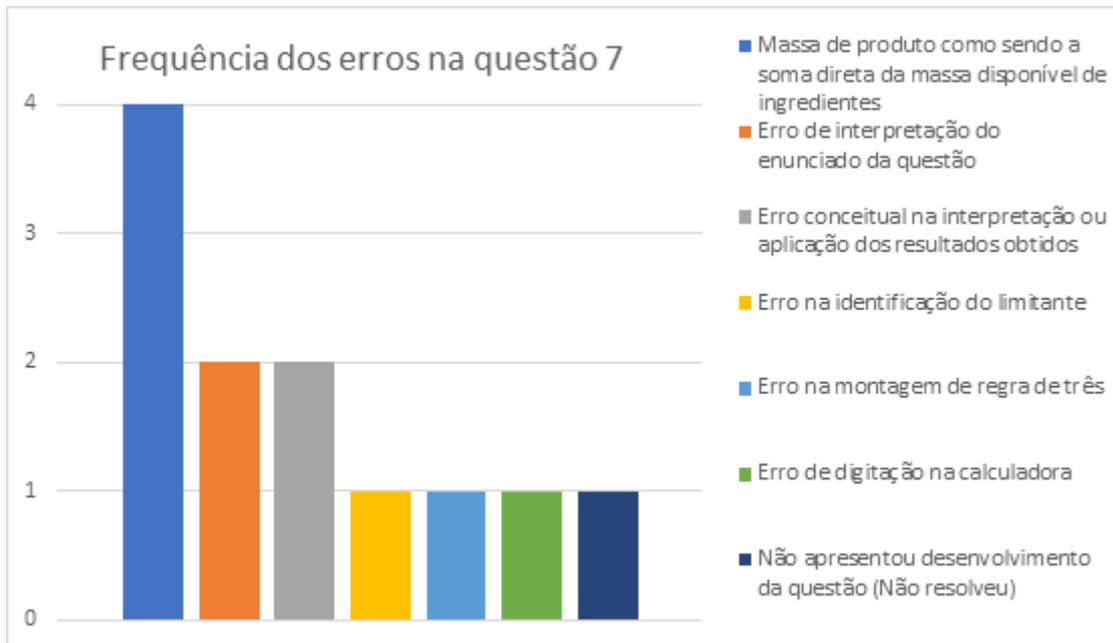
dos itens está em maior ou menor quantidade para a proporção dada. Uma vez que os percentuais menores em comparação à turma piloto também foram verificados nas questões 7 e 8 da prova final, essa dificuldade pré-existente parece ter impactado no sucesso dos alunos, mesmo após a aplicação da UEPS.

Assim como no estudo piloto, foi observado um percentual de acerto menor nas questões da prova do estudo final em comparação à questão da situação-problema inicial, que pode ser novamente atribuído à maior complexidade dos enunciados. Por outro lado, no estudo final foi identificado uma diferença um pouco maior entre o número de alunos que resolveu corretamente a questão com exemplo culinário e o número de alunos que resolveu corretamente a questão com exemplo de reação química, denotando que tiveram um pouco mais de facilidade em resolver os problemas ao excluir a necessidade de utilização da linguagem química.

Na análise das questões da prova, além de contabilizar o percentual de acertos, buscou-se identificar as causas de erro e as estratégias para resolução tanto da questão 7 da prova (questão sobre *mousse*), quanto da questão 8 (questão convencional). Para isso realizou-se uma análise de cada prova (APÊNDICE D).

Na questão 7, ao avaliar o desenvolvimento apresentado pelos 12 alunos que não foram alocados na categoria *resolveu corretamente*, foram identificadas sete classes de erros que foram cometidos pelos alunos. A Figura 31 retrata com que frequência cada uma delas foi observada.

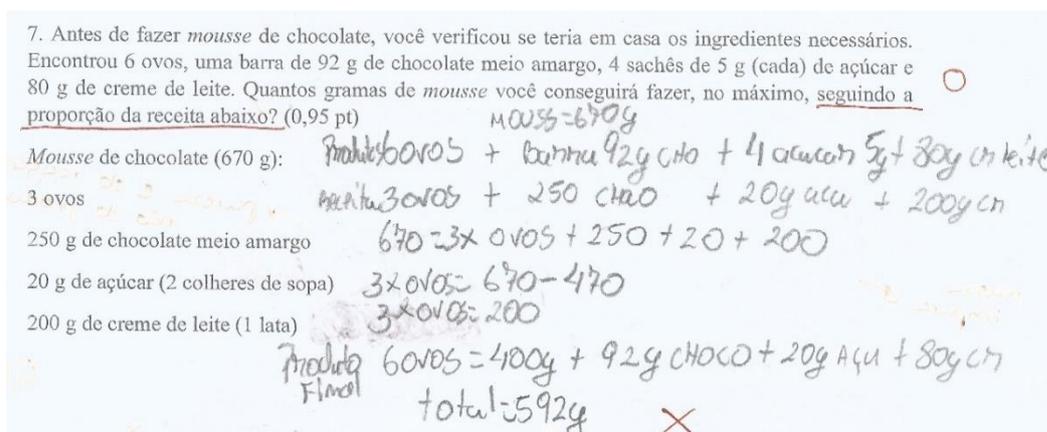
Figura 31 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma final na resolução da questão com ingredientes culinários (Questão 7)



Fonte: A autora (2020)

Na análise da questão 7 foi observado que o aluno 18 (Figura 32) a resolveu incorretamente porque não considerou que deveria utilizar a proporção de ingredientes dada na receita e apenas somou a quantidade de ingredientes disponíveis.

Figura 32 - Resolução da questão 7 da prova pelo aluno 18



Fonte: A autora (2020)

Já a aluna 13 (Figura 33) calculou a quantidade de mousse que seria possível produzir a partir da quantidade disponível de chocolate e repetiu o mesmo cálculo para a quantidade de creme de leite, deixando subentendido que percebeu que um desses dois ingredientes seria o limitante. Porém, ao invés de identificar entre estes resultados qual seria o correto, somou os valores com a massa disponível de açúcar,

cometendo assim um erro conceitual na interpretação e aplicação dos resultados obtidos.

Figura 33 - Resolução da questão 7 da prova pela aluna 13

proporção da receita abaixo? (0,95 pt)

Mousse de chocolate (670 g):

200% 3 ovos — 6 ovos 400g *vai ser 3*

250 g de chocolate meio amargo — 92g — 158 amarr

20 g de açúcar (2 colheres de sopa) 20g — *constante*

200 g de creme de leite (1 lata) 80g — 120g

470g

$$246,5 + 20 + 268g = 534,5g$$

X

$$\begin{array}{r} 670g - 250g \\ x - 92 \end{array} \quad x = 246,5g$$

$$\begin{array}{r} 670g - 200g \\ x - 80g \end{array} \quad x = 268g$$

Fonte: A autora (2020)

Entre os alunos que foram alocados na categoria *Resolveu parcialmente*, encontra-se o caso da aluna 15 (Figura 34). A aluna calculou a quantidade de mousse que poderia ser produzida utilizando toda a quantidade disponível de chocolate, repetiu o procedimento para a quantidade disponível de creme de leite e identificou, de forma conceitualmente correta, que a quantidade máxima possível de obter seria o menor valor encontrado. A estratégia utilizada para a resolução do problema seria classificada como Método B, no entanto, apesar da construção correta dos cálculos, a aluna encontrou um dos valores muito diferente do esperado, aparentemente devido a um erro de digitação na calculadora.

Figura 34 - Resolução da questão 7 da prova pela aluna 15

6 ovos + 92g chocolate + 20g de açúcar
80g creme de leite

$$\begin{array}{r} 670 - 200 \\ x - 80 \end{array} \quad x = 5 \times 10^{-03} \quad 10,005g$$

??? *errou na calculadora*

$$\begin{array}{r} 670 - 250 \\ x - 92 \end{array} \quad x = 246,56$$

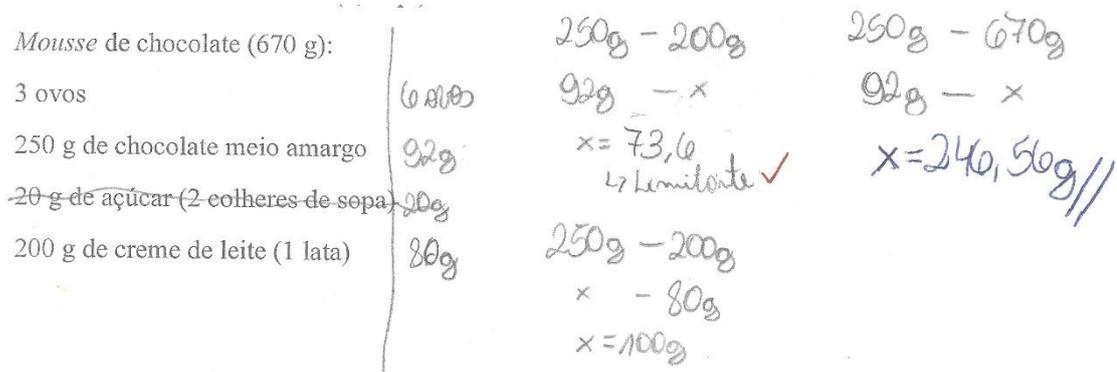
ex

Fonte: A autora (2020)

Por outro lado, o aluno 14 (Figura 35) resolveu a questão corretamente utilizando a estratégia que foi classificada como Método A. Calculou a quantidade de

chocolate que seria necessária para utilizar toda a quantidade dada de creme leite e vice-versa, indicando corretamente o ingrediente limitante e calculando a quantidade de mousse possível de ser obtida a partir deste.

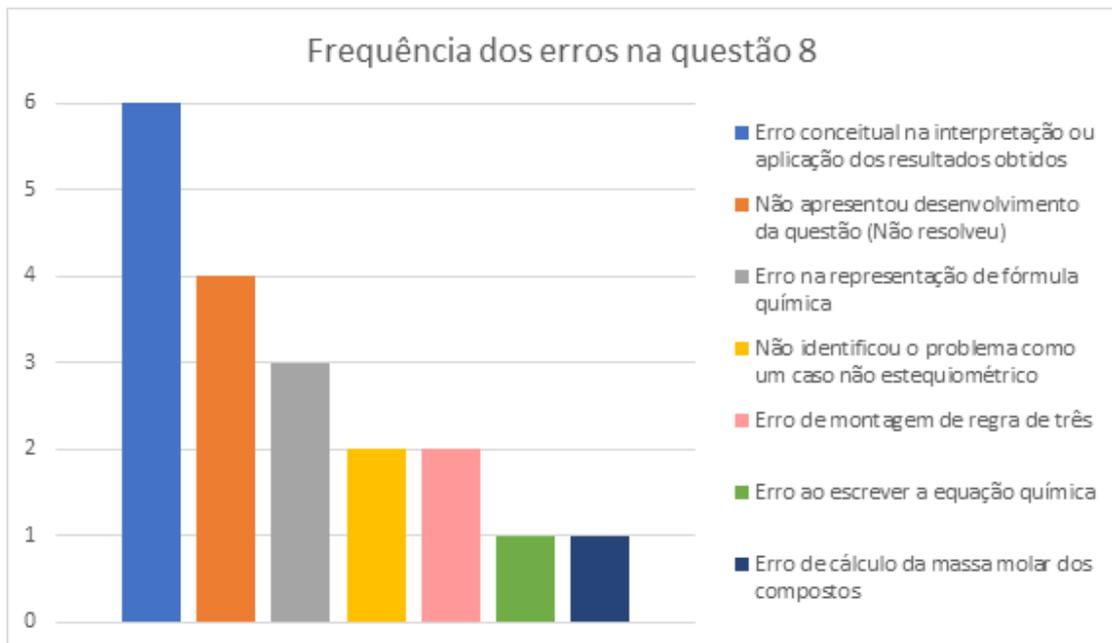
Figura 35 - Resolução da questão 7 da prova pelo aluno 14



Fonte: A autora (2020)

Analisando de que forma os 14 alunos que não foram classificados em *resolveu corretamente* desenvolveram os cálculos para a resolução da questão 8 da prova, foram observadas semelhanças que permitiram a classificação em sete tipos de erros. A Figura 36 mostra quantas vezes cada tipo de erro foi observado, sendo que em alguns casos a resolução de um mesmo aluno foi alocada em mais de um tipo de erro.

Figura 36 - Frequência dos erros cometidos pelos alunos da turma final na resolução da questão convencional, com reação química (Questão 8)

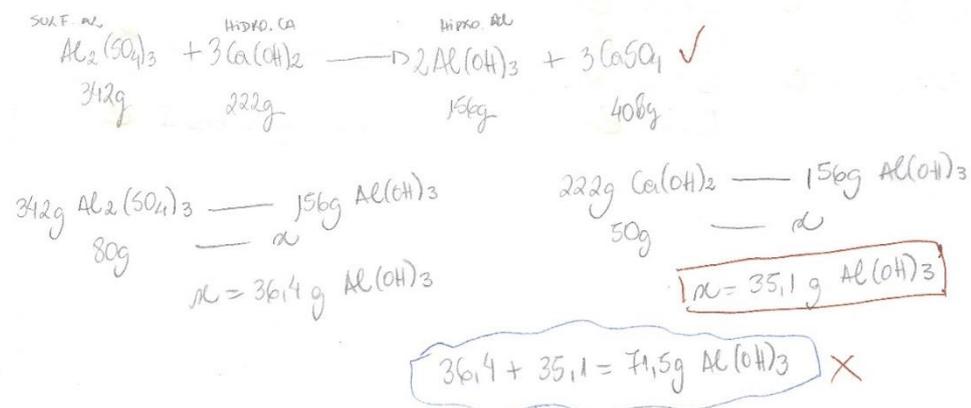


Fonte: A autora (2020)

Na análise da questão 8 foi possível perceber que a maior parte dos alunos que não a resolveu corretamente cometeu algum erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos. Foi o caso da aluna 23 (Figura 37), que calculou a quantidade de produto que seria gerado com o consumo total de cada reagente individualmente (estratégia do Método B), mas, ao invés de identificar entre os resultados qual seria a massa de hidróxido de alumínio possível de ser produzida, apresentou como resposta final a soma destes valores.

Figura 37 -Resolução da questão 8 da prova pela aluna 23

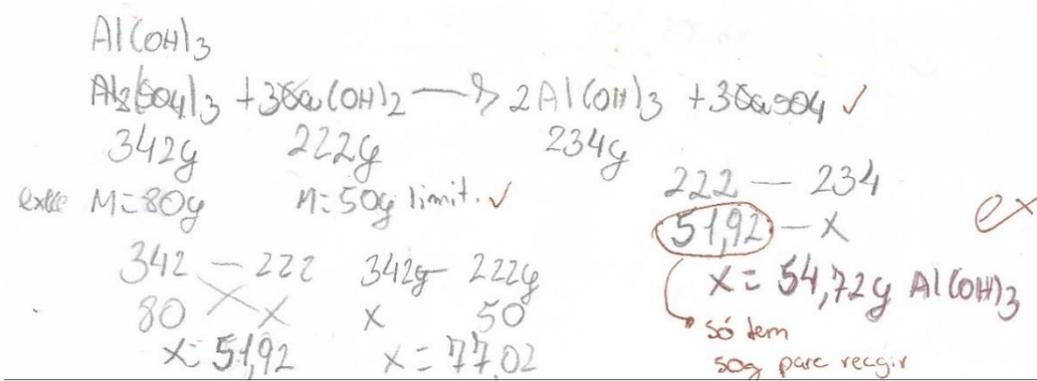
8. Nas estações de tratamento de água, eliminam-se as impurezas sólidas em suspensão através do arraste por flocos de hidróxido de alumínio, produzidos na reação entre sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio. Se forem misturados 80 g de sulfato de alumínio e 50 g de hidróxido de cálcio, qual será a massa de hidróxido de alumínio produzida? (0,95 pt)



Fonte: A autora (2020)

Da mesma forma, o aluno 18 (Figura 38) resolveu incorretamente a questão por cometer um erro conceitual ao aplicar os dados obtidos por ele no desenvolvimento dos cálculos. Esse, por sua vez, identificou corretamente o reagente limitante, porém, ao calcular a massa de produto que seria obtida, aplicou na regra de três a massa de reagente limitante que seria necessária para consumir todo o reagente que estava em excesso, ao invés de considerar apenas a quantidade de reagente disponível no enunciado.

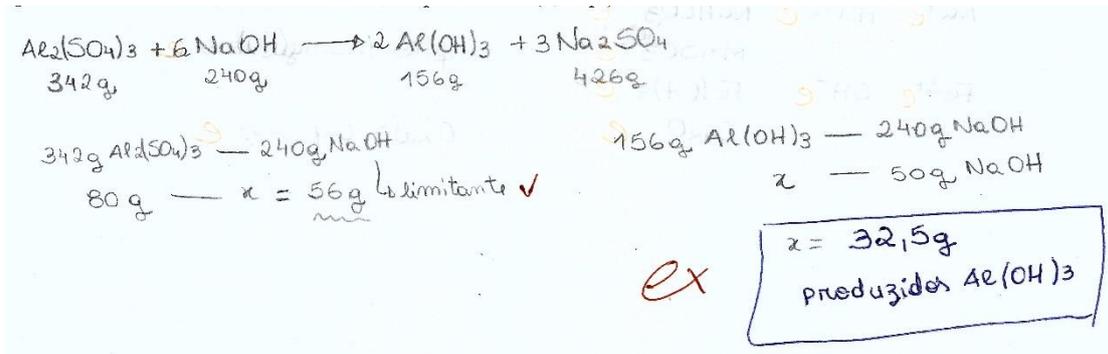
Figura 38 - Resolução da questão 8 da prova pelo aluno 18



Fonte: A autora (2020)

Os dois alunos que foram classificados como *Resolveu parcialmente* apresentaram um desenvolvimento conceitualmente correto dos cálculos, mas cometeram erro ao representar fórmulas químicas dos compostos que participam da reação descrita no enunciado do problema. A aluna 3 (Figura 39) foi alocada nessa categoria, pois apresentou um desenvolvimento correto para identificação do reagente limitante e para o cálculo da massa de produto, mas trocou hidróxido de cálcio por hidróxido de sódio ao escrever a equação química, o que acarretou um resultado diferente do esperado.

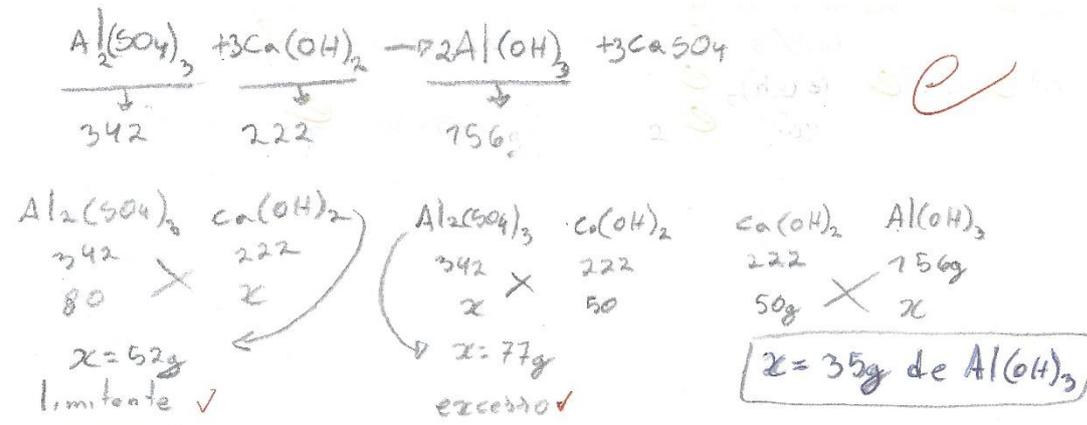
Figura 39 -Resolução da questão 8 da prova pela aluna 3



Fonte: A autora (2020)

Os alunos que resolveram corretamente a questão utilizaram basicamente dois tipos de estratégias diferentes. O aluno 11 (Figura 40), por exemplo, calculou a quantidade de sulfato de alumínio que seria necessária para reagir completamente com a quantidade dada de hidróxido de cálcio e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste (Método A).

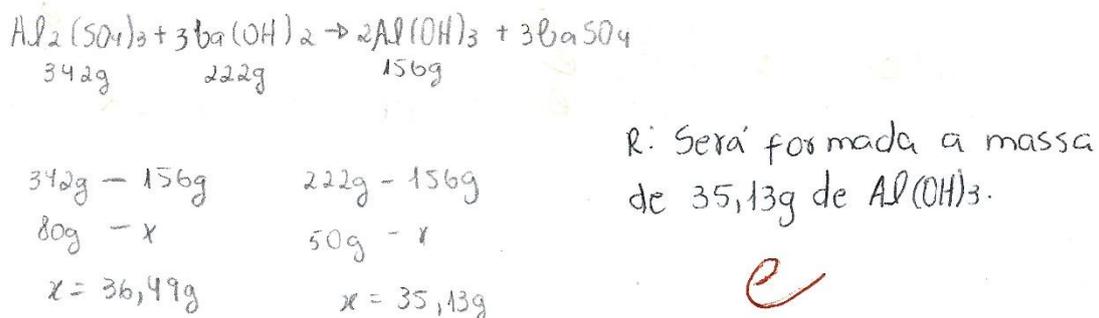
Figura 40 - Resolução da questão 8 da prova pelo aluno 11



Fonte: A autora (2020)

A aluna 16 (Figura 41), que também resolveu corretamente, calculou a quantidade de produto que seria formada com o consumo total da massa fornecida de cada um dos reagentes individualmente, e considerou o menor valor encontrado como o efetivamente possível de ser produzido (Método B).

Figura 41 - Resolução da questão 8 da prova pela aluna 16



Fonte: A autora (2020)

Assim como nos exemplos apresentados nas Figuras 33, 37 e 38, foram diversos os cálculos e resultados apresentados pelos demais alunos que cometeram algum erro na resolução dos problemas identificado como *Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos*. De um modo geral, pode-se dizer que todos eles identificaram que as quantidades de ingredientes ou reagentes dadas no enunciado não estavam na proporção da receita ou em quantidades estequiométricas para a reação química, e demonstraram uma compreensão acerca do mecanismo dos cálculos que poderiam ser utilizados para a resolução deste tipo problema. Por outro lado, apesar de terem obtido resultados corretos até certo ponto

do desenvolvimento da questão, aplicaram estes dados incorretamente nos cálculos subsequentes ou realizaram cálculos adicionais desnecessários, o que leva a crer que tiveram dificuldades em identificar de que forma os conceitos trabalhados estavam sendo aplicados nesses cálculos. Esse tipo de erro foi bastante comum, sendo o mais frequente na questão convencional (Questão 8) e aparecendo também na questão com exemplo culinário (Questão 7). Também foi um dos mais frequentes na questão convencional (Questão 10) do estudo piloto.

Costa e Souza (2013) apontam como um dos problemas no desenvolvimento do conteúdo de estequiometria o enfoque matemático em detrimento de uma interpretação química, que leva a uma mecanização dos procedimentos para a resolução dos problemas. Embora a unidade tenha sido construída apoiada nos preceitos da aprendizagem significativa, que, por sua vez, se opõem à aprendizagem mecânica, podemos observar no desenvolvimento dessas questões que, nestes casos, os alunos parecem ter se preocupado mais em memorizar e reproduzir o mecanismo que foi utilizado pela professora nos exemplos semelhantes apresentados em aula do que em compreender o conteúdo e interpretar as diferentes situações, o que também foi identificado por Costa e Souza (2013).

Segundo Le Maire et. al (2018), a estequiometria das reações é um tópico crítico quando se trata de entender como funcionam as reações e, particularmente, a diferença entre condições de reação estequiométrica e não estequiométrica, ou seja, a “estequiometria do reagente limitante”. Apesar de, diferentemente do que foi observado no estudo piloto, não identificar o problema como um “caso não estequiométrico” não ter sido o erro mais frequente na resolução da questão convencional, foi uma das dificuldades também detectadas no estudo final. Também é possível perceber uma relação com a errônea identificação e aplicação da “estequiometria do reagente limitante” na questão com exemplo culinário, quando os alunos apenas somam as quantidades de ingredientes disponíveis para determinar a quantidade produzida de mousse, sem considerar a proporção da receita (o que, por sua vez, foi o erro mais comum neste tipo de questão, tanto no estudo piloto quanto no estudo final).

Esse tipo de erro também pode ser relacionado à comum dificuldade dos estudantes nos cálculos matemáticos de proporções ao resolver problemas

envolvendo leis ponderais (VERONE; PIAZZA, 2007 *apud* DOS SANTOS; DA SILVA, 2014), ou ainda, considerando a analogia utilizada, à incorreta aplicação da Lei de Conservação das Massas. Os autores Galagovsky, Di Giacomo e Alí (2015) sinalizam que os estudantes generalizam o termo “produtos” como sendo equivalente a “sistema final” e, por este motivo, aplicam a Lei de Conservação das Massas sem considerar a presença de impurezas, de reagentes em excesso ou os casos de reações reversíveis, nos quais o sistema final é constituído também por reagentes. Analogamente, no caso do exemplo culinário os alunos deveriam considerar que a soma das massas dos ingredientes correspondia à massa do “sistema final”, e esse, por sua vez, era composto tanto pelo mousse (“produto”) quanto pela parte dos ingredientes que não seria utilizada na receita (“reagentes em excesso”).

6.3.3 Avaliação da UEPS

Com o objetivo de validar a estratégia utilizada para o ensino de estequiometria, é importante que os alunos avaliem a unidade de ensino proposta. Essa avaliação nesse estudo final foi realizada por meio de um questionário com questões fechadas do tipo escala *Likert* de cinco pontos e questões abertas. Os alunos deveriam ler as afirmativas e manifestar seu grau de concordância em relação às afirmativas a seguir em uma escala de cinco pontos: Concordo plenamente (CP); Concordo (C); Indeciso ou Não tenho opinião (NO); Discordo (D); Discordo totalmente (DT). No Quadro 3 é exposta a quantidade de alunos que manifestou o respectivo grau de concordância para cada uma das afirmativas.

Quadro 3 - Respostas avaliação dos alunos

	CP	C	NO	D	DT
Tive facilidade em fazer os exercícios com exemplos culinários	10	10	0	3	1
Tenho dificuldade em realizar os cálculos seja com exemplos culinários ou com questões convencionais da química	4	4	5	7	4
Senti facilidade em resolver as questões convencionais depois do uso dos exemplos culinários	4	8	6	3	3
Recomendo que outros professores utilizem a mesma metodologia	5	9	4	4	2
A utilização dos exemplos culinários contribuiu positivamente para a compreensão do tema reagente limitante	7	11	3	2	1
A atividade com simulador computacional contribuiu positivamente para a compreensão do tema reagente limitante	4	7	11	2	0
A atividade com pipocas contribuiu positivamente para a compreensão do tema rendimento de reações	8	7	9	0	0
Minha maior dificuldade são os aspectos relacionados aos cálculos	6	7	3	6	2
Minha maior dificuldade está relacionada à interpretação dos enunciados dos problemas	9	7	4	2	2
Minha maior dificuldade está relacionada à compreensão dos fenômenos químicos	3	4	5	9	3
Eu já sabia realizar os cálculos estequiométricos pois aprendi esse conteúdo no Ensino Médio	2	5	3	4	10
Eu fiz uso dos materiais de estudo e realizei as atividades propostas de maneira satisfatória	5	11	5	1	2
Eu me sinto motivado a aprender mais sobre Química Inorgânica	9	9	5	1	0
Eu contribuo como aluno para um ambiente favorável à aprendizagem	6	14	4	0	0
A turma proporcionou um ambiente favorável à aprendizagem	3	9	7	4	1
A professora estagiária apresentou domínio e clareza no desenvolvimento do conteúdo	7	11	4	2	0
O material de estudo fornecido foi suficiente para a compreensão do conteúdo	6	11	6	1	0
A professora estagiária mostrou levar em consideração o desempenho da turma ao planejar as aulas subsequentes	7	10	5	2	0
A professora estagiária contribuiu para um ambiente favorável à aprendizagem	12	9	3	0	0
O tempo de aula foi aproveitado de forma satisfatória	10	10	3	1	0

Fonte: A autora (2020)

Analisando as respostas dos alunos, é possível perceber que a grande maioria afirma ter facilidade em fazer os exercícios culinários, embora nem todos estes tenham concordado que tiveram facilidade em resolver as questões convencionais após o uso dos exemplos culinários. De um modo geral avaliaram positivamente as estratégias utilizadas, concordando que recomendariam que outros professores

utilizem a mesma metodologia e que as estratégias contribuíram positivamente para a compreensão do conteúdo, principalmente se tratando da utilização dos exemplos culinários para o tema reagente limitante e a atividade com pipocas para o tema rendimento de reações.

Quanto às dificuldades relacionadas ao conteúdo, a maioria atribui aos aspectos relacionados aos cálculos e à interpretação dos enunciados do problema, enquanto que a dificuldade relacionada à compreensão dos fenômenos químicos foi autoavaliada por poucos alunos. A maior parte dos alunos discordou que já sabia realizar os cálculos estequiométricos por ter aprendido esse conteúdo no Ensino Médio.

Também é possível perceber uma avaliação positiva dos discentes quanto aos aspectos relacionados à motivação dos alunos, à atuação da licencianda, ao material de estudo, ao ambiente de aprendizagem e ao tempo de aula. Ademais, o uso de exemplos culinários contribuiu positivamente não só para a introdução dos tópicos, como organizadores prévios, como também para retomar algumas explicações ao longo do aprofundamento do conteúdo. Em diversos pontos, quando os alunos solicitavam auxílio da professora para a resolução dos exercícios, retornava-se aos exemplos culinários para que os alunos conseguissem compreender os conceitos que estavam sendo abordados no problema com reação química.

Além das questões fechadas, o questionário contou com duas questões abertas, mas que a maior parte dos alunos optou por não responder. Quando solicitados a apontar os “aspectos positivos e negativos da unidade de ensino utilizada para o desenvolvimento do conteúdo de estequiometria durante o período de estágio”, os cinco alunos que responderam à questão destacaram como aspectos positivos a utilização de exemplos culinários e “conceitos visuais e de rotina” ou o uso de “mais de um método” para as explicações. Um aluno apontou que poderiam ter sido usados “mais exemplos com reagentes químicos”.

Respondendo à pergunta “que sugestões, se for o caso, você faria a professora melhorar o ensino de estequiometria?”, um aluno sugeriu “Retirar os exemplos culinários” enquanto que outro recomendou “Continuar a trazer métodos diferenciados para o ensino, pois as vezes de uma maneira só (que não foi esse caso já que trouxe da pipoca, ingredientes) não se pega o conteúdo”.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de investigar a elaboração e aplicação de uma sequência didática denominada Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para abordar o conteúdo de estequiometria utilizando como organizadores prévios ingredientes culinários, aplicando a proposta em uma turma piloto de uma disciplina introdutória de um Curso Técnico em Química, e, após verificação das adequações necessárias, aplicando a proposta reformulada em uma segunda turma da mesma disciplina e curso.

A aprendizagem significativa demanda o domínio de um campo de conhecimentos e por esse domínio ser progressivo, ao final desse trabalho tivemos a pretensão de discutir o progresso dos alunos ao longo da aplicação da sequência, as evidências que sugerem uma aprendizagem significativa, bem como o uso da UEPS impactou a prática docente, sem focar nos resultados finais na disciplina. Considerando a avaliação dos alunos e a percepção da licencianda no decorrer do desenvolvimento da unidade de ensino, a estratégia do uso de organizadores prévios para o ensino de estequiometria, empregando receitas culinárias como analogia, mostrou resultados satisfatórios, tanto no estudo piloto, quando a estratégia foi focada na introdução do conceito de reagente limitante, quanto no estudo final, após a expansão da UEPS de forma a abranger todos os conceitos previstos para a unidade *Cálculo Estequiométrico*. Apesar de não ter sido o suficiente para sanar totalmente as dificuldades que os alunos apresentam no aprendizado desse conteúdo, a utilização de exemplos relacionados ao cotidiano possibilitou, em comparação às aulas em que foram utilizadas metodologias mais tradicionais e exemplos de reações químicas, uma participação mais ativa dos alunos e uma melhor compreensão das explicações por parte destes.

A metodologia utilizada na análise das provas finais mostrou-se uma boa ferramenta para a identificação dos principais erros e dificuldades dos alunos, que puderam ser discutidos e retomados na aula final. Por outro lado, avaliar quantitativamente os alunos que passaram a resolver corretamente um determinado tipo de questão, em comparação à situação-problema inicial aplicada previamente à

exposição do conteúdo, não se mostrou eficiente para a identificação de evidências de aprendizagem significativa.

Avaliando os resultados do estudo piloto, percebeu-se que os instrumentos utilizados na coleta de dados estavam privilegiando exclusivamente questões com aplicações matemáticas do conteúdo. No estudo final, ao incluir a atividade de mapa conceitual previamente à exposição do conteúdo e ao final da unidade, foi possível não só identificar a forma como os alunos entendem e organizam os conceitos, como também perceber como estava sendo o processo de aprendizagem destes alunos.

Analisando comparativamente as produções, foi possível identificar que conceitos prévios e novos foram incluídos, redefinidos, relacionados e hierarquizados, caracterizando tanto uma diferenciação progressiva quanto uma reconciliação integrativa por parte dos alunos, sendo consideradas evidências de um processo de aprendizagem significativa. Pelos motivos citados, essas atividades mostraram-se não só como um bom instrumento de avaliação processual, como um bom guia para o professor na sua prática pedagógica.

O uso das UEPS pode ser considerado uma alternativa prática e viável para ser implementada em sala de aula, uma vez que propõe uma organização lógica e sequencial das atividades de ensino, com o emprego de situações em ordem crescente de complexidade e com avaliação ao longo de sua implementação. Essas são estratégias fundamentais para o processo de conceitualização e que irão contribuir para que o aluno atribua sentido a esse novo conceito, promovendo uma aprendizagem com significado. Em outras palavras, trata-se de uma organização didática com vistas a uma aprendizagem que não é limitada à memorização e à reprodução em uma avaliação, pois objetiva a compreensão, a capacidade de explicar e aplicar o conhecimento em novas e diferentes situações de forma processual. Espera-se que a UEPS aqui apresentada e detalhada incentive o desenvolvimento e a implementação em sala de aula de outras unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa, principalmente para os tópicos específicos que são considerados mais desafiadores tanto pelos alunos quanto pelos professores.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Carlos Eduardo Pereira; DE CASTILHO, Roberto Barbosa. Modelagem de estruturas moleculares para uma aprendizagem significativa em estequiometria. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 3, 2019.

ARAÚJO, Gracieli Xavier de; BARROSO, Roney Ramos. **A importância da aplicação de jogo pedagógico passa e repassa na aprendizagem de cálculo estequiométrico na disciplina de química no ensino médio**. 2011. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

ATKINS, P. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Porto Alegre: Bookman, 2018. 9788582604625. Disponível em: <https://bridge.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582604625/>. Acesso em: 28 nov. 2020

AUSUBEL, David. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Editora Plátano, 2003.

AUSUBEL, David. P.; NOVAK, Joseph. D.; HANESIAN, Helen. *Psicologia Educacional*. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. 3ª Reimpressão da 1. **São Paulo: Edições**, v. 70, 2016.

BATINGA, Verônica Tavares Santos; TEIXEIRA, Francimar Martins. A Abordagem de Resolução de Problemas por uma professora de Química: análise de um problema sobre a Combustão do Álcool envolvendo o conteúdo de Estequiometria. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2014.

BELTRAN, Nelson. Orlando; CISCATO, Carlos Alberto. **Coleção Magistério para o 2º Grau**, série Formação Geral: Química. Ed. Cortez, 2000

CÁRDENAS, Fidel Antonio. Dificultades de aprendizaje en química: caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas. **Cienc. educ. (Bauru)**, p. 333-346, 2006.

COLEN, Jesús. Anos de Química Nova na Escola: notas de alguém que a leu como estudante no ensino médio e no ensino superior com aspirações à docência. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 1, p. 16-20, 2012.

DA COSTA, Ana Alice Farias; DA TRINDADE SOUZA, Jorge Raimundo. Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v. 10, n. 19, p. 106-116, 2013.

DOS SANTOS, Livia Cristina; DA SILVA, Marcia Gorette Lima. Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria/Knowing the difficulties of learning in higher education for the concept of stoichiometry. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 1, p. 133-152, 2014.

GALAGOVSKY, Lydia; GIUDICE, Jimena. Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 21, n. 1, p. 85-99, 2015.

GALAGOVSKY, Lydia Raquel; DI GIACOMO, María Angélica; ALÍ, Salvador. Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 21, n. 2, p. 351-360, 2015.

GAFOOR, K. Abdul.; SHILNA, V. Chemistry instruction through analogies. Presented at the National Seminar on Emerging Trends in Education at the Department of Education; University of Calicut: Kerala, India, 11-12 nov. 2012.

GIBBS, Graham. **Análise de dados qualitativos: coleção pesquisa qualitativa**. Bookman Editora, 2009.

GILBERT, John. K.; TREAGUST, David. F. **Multiple representations in chemical education**. Dordrecht: Springer, 2009, 390p.

JUSTI, Rosária; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. Usando analogias com função criativa: uma nova estratégia para o ensino de química. **Educació química**, p. 24-29, 2008.

JOHNSTONE, Alex.H. Why Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. Hoboken, **Journal Computer Assisted Learning**, v. 7, n.2, p. 75-83, 1991.

KALANTAR, Alfred. H. Limiting reagent problems made simple for students. **Journal of Chemical Education**, v. 62, n. 2, p. 106, 1985.

KONFLANZ, Gabriel. Muller et al. Unidade de ensino potencialmente significativa mediada pelas Tecnologias de Informação e Comunicação para o ensino de séries de Fourier. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 2, n. 2, 2019.

LAVILLE, Christian; DIONNE, Jean. A Construção do Saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. (Revisão técnica e adaptação da obra de Lana Mara Siman). **Editora UFMG, Porto Alegre**, 1999.

LE MAIRE, Nathalie V. et al. Clash of chemists: a gamified blog to master the concept of limiting reagent stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 3, p. 410-415, 2018.

MENDES, Abinadabis; SANTANA, Genilson; JÚNIOR, Erasmo Pessoa. O uso do software PhEt como ferramenta para o ensino de balanceamento de reação química. **Revista Areté/Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 8, n. 16, p. 52-60, 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas. Material de apoio para o curso Aprendizagem Significativa no Ensino Superior: Teorias e Estratégias Facilitadoras. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2012-2013.

MOREIRA, Marco Antonio. Unidades de enseñanza potencialmente significativas – UEPS. Potentially meaningful teaching units PMTU. **Aprendizagem Significativa em**

Revista, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2011. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf. Acesso em: 20 jun. 2019.

PhET Interactive Simulations. **Reagentes, produtos e excesso**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/reactants-products-and-leftovers. Acesso em: 15 ago. 2019

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico - 2nd.ed..** Editora Feevale, 2013.

SAMPAIO, Rosana Ferreira; MANCINI, Marisa Cotta. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007

SANTOS, Livia Cristina dos. Dificuldades de aprendizagem em estequiometria: uma proposta de ensino apoiada na modelagem. 2013. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SOSTARECZ, Michael C.; SOSTARECZ, Audra Goach. A conceptual approach to limiting-reagent problems. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 9, p. 1.148-1.151, 2012.

TAVARES, Romero. Aprendizagem significativa. **Revista Conceitos**, v. 55, n. 10, 2004.

APÊNDICE A - SEQUÊNCIA DIDÁTICA DA UEPS FINAL

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE ESTRQUIOMETRIA

Autora: Franciele Haupt Orientadora: Daniele Raupp

Objetivando contribuir com o ensino de estequiometria, elaborou-se uma sequência de aulas baseadas nos pressupostos da aprendizagem significativa, utilizando como organizador prévio a relação com ingredientes culinários (Quadro 1). A sequência proposta será descrita a seguir, de acordo com Moreira (2013), tendo como objetivo ensinar os conceitos e cálculos relacionados à estequiometria de reações, usando exemplos de receitas culinárias como organizadores prévios.

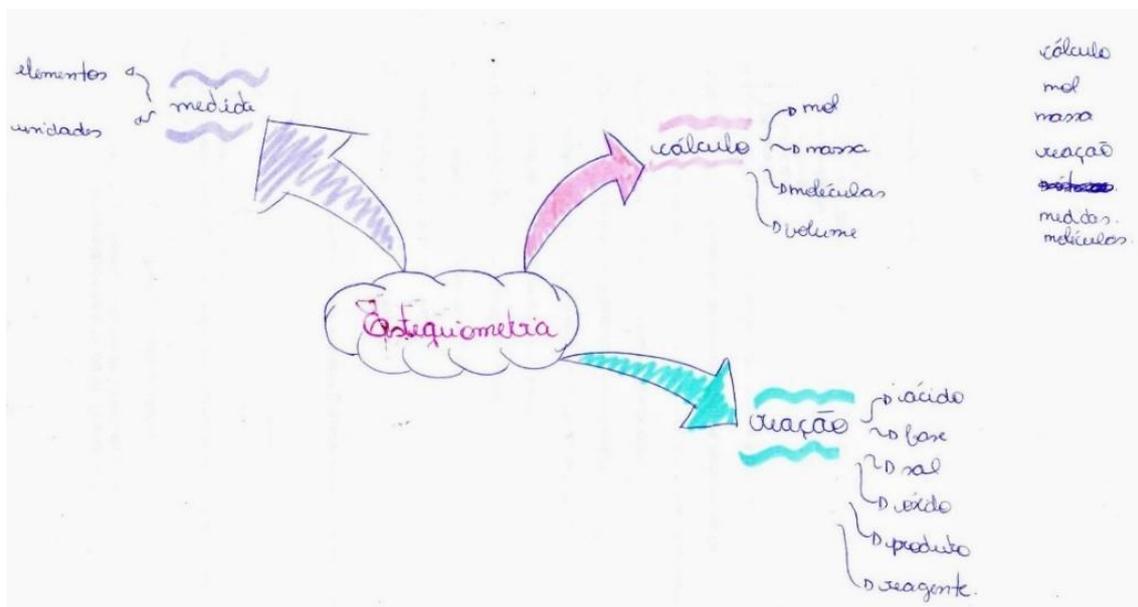
Quadro 1 - Organização da unidade de ensino

Sequência	Etapas da UEPS	Estratégias utilizadas
Aula 1	Situação inicial; Situações-problema iniciais; Aprofundamento do conteúdo.	Mapa mental; Resolução da situação-problema inicial; Aula expositiva com uso de organizador prévio e resolução de cálculos.
Aula 2	Nova situação-problema; Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositivo-dialogada com uso de organizador prévio, simulador computacional e resolução de cálculos.
Aula 3	Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositiva e resolução de cálculos.
Aula 4	Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositivo-dialogada com uso de organizador prévio (atividade prática) e resolução de cálculos.
Aula 5	Aprofundamento do conteúdo.	Resolução de cálculos.
Aula 6	Avaliação formativa; Avaliação da UEPS.	Mapa conceitual; Resolução de questão-desafio; Aplicação de questionário com questões abertas e fechadas para avaliação da UEPS.
Aula 7	Avaliação somativa individual.	Aplicação de prova.
Aula 8	Aula final.	Resolução de dúvidas referentes às questões da atividade avaliativa.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Situação inicial: Com o intuito de instigar os alunos a externalizarem seus conhecimentos prévios, sugere-se uma atividade colaborativa em pequenos grupos (dois a quatro participantes) para a construção de um mapa mental (Figura 1), partindo da palavra central: “estequiometria”. Esse mapa mental pode ser apresentado ao grande grupo e servir como base para a avaliação formativa. Para auxiliar os alunos nessa construção, podem ser feitas perguntas como: O que é estequiometria? O que o preparo de uma receita tem a ver com química? Também podem ser lançadas palavras-chave como: proporção, unidades de medida, conversão de unidades, grandezas, equação química, coeficientes estequiométricos.

Figura 1 - Atividade colaborativa: mapa mental sobre estequiometria



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Situações-problema iniciais: Para o ensino de estequiometria, optou-se por utilizar como situações-problema iniciais questões do cotidiano, fazendo uso da relação com ingredientes culinários. Os alunos são convidados a resolver problemas a partir de receitas culinárias fornecidas pelo professor. Propõe-se que as questões contemplem, em nível introdutório, relações que serão importantes no desenvolvimento do conteúdo (como proporções e unidades de medida) e que os alunos possam modelá-las mentalmente. As Figuras 2 e 3 contêm exemplos que podem ser utilizados.

Figura 2 – Receitas utilizadas

Receita de bolo 1:

- 4 unidades de gema de ovo
- 4 unidades de clara de ovo batidas em neve
- 2 xícaras (chá) de farinha de trigo
- 1 xícara (chá) de açúcar
- 1 colher (sopa) de fermento químico em pó
- 1 xícara (chá) de água

Porção: 540 g

Receita de bolo 2:

- 2 xícaras (chá) de açúcar
- 3 xícaras (chá) de farinha de trigo
- 4 colheres (sopa) de margarina
- 3 ovos
- 1 e 1/2 xícara (chá) de leite
- 1 colher (sopa) bem cheia de fermento em pó

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Figura 3 - Situações para cálculo com ingredientes culinários

Questões para responder (apresente os cálculos utilizados e/ou explique como chegou à resposta da questão):

1) Se você tiver em casa uma quantidade de açúcar equivalente a duas xícaras de chá, poderá fazer um bolo de quantos gramas usando a receita 1? Por quê? E, nesse caso, precisará de quais quantidades dos demais ingredientes?

2) Suponha que você quer fazer o bolo da receita 2 utilizando os 5 ovos que estão na sua geladeira. Quantas xícaras de açúcar terá que utilizar? Sabendo que uma xícara de chá corresponde ao volume de 240 mL, qual o volume de leite será necessário?

3) Você não encontrou nenhuma xícara de chá em sua cozinha mas, por outro lado, possui uma balança de cozinha e um copo medidor. Se, ao pesar a farinha, você encontrou uma massa de 500 g e deseja utilizar toda essa quantidade para fazer a receita 2, qual volume de leite terá que medir para adicionar à massa do bolo?

Dado: 1 xícara (chá) = 120 g de farinha ou 240 mL de leite

4) Antes de começar a fazer a receita 2, você conferiu se teria ingredientes o suficiente para fazer mais que um bolo. Verificou que ainda tinha 6 xícaras de farinha de trigo e uma dúzia de ovos. Tendo quantidade suficiente dos demais ingredientes, quantos bolos poderá fazer? Qual destes dois ingredientes sobrá?

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Aprofundamento do conteúdo: Uma aula expositivo-dialogada pode ser utilizada como estratégia para começar a ensinar, de fato, o tópico em pauta. A partir dos resultados da etapa anterior, é possível verificar se os alunos têm em sua estrutura cognitiva os subsunçores adequados para o desenvolvimento do conteúdo ou identificar a necessidade de empregar organizadores prévios.

Um exemplo de receita de torrada (Figura 4) escrita na forma de uma equação química, é uma alternativa simples de organizador prévio que pode preceder a apresentação dos aspectos gerais do conteúdo a ser desenvolvido (Lei de Lavoisier ou Lei da Conservação da Matéria, Lei de Proust ou Lei das Proporções Constantes, relações molares, relações mol/massa, relações massa/massa, entre outras, aplicadas ao cálculo estequiométrico), buscando explicitar a relacionabilidade entre o conhecimento do cotidiano do aluno e o conhecimento novo.

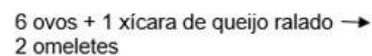
Figura 4 - Uso de organizadores prévios para relações não estequiométricas

Receita 1: torrada



P = pão; Pr = presunto; Qu = queijo

Receita 2: omeletes



Questão 1. Se, para fazer a receita 1, você tiver 10 fatias de pão, 4 fatias de presunto e 6 fatias de queijo:

- A) Qual é a quantidade máxima de torrada que poderá fazer com estes ingredientes?
- B) Qual é o ingrediente limitante?
- C) Quais são os ingredientes em excesso? Quanto sobrarão de cada um deles depois que fizer as torradas?

Questão 2. Se, para fazer a receita 2, tiver 5 ovos e $\frac{1}{2}$ xícara de queijo ralado:

- A) Qual é a quantidade máxima de omelete que poderá fazer com estes ingredientes?
- B) Qual é o ingrediente limitante?
- C) Qual é o ingrediente em excesso? Quanto sobrarão dele após fazer a receita?

Questão 3. Sabendo que 6 ovos = 1200 g e 1 xícara de queijo ralado = 50 g, responda aos itens A, B e C da questão 2, desta vez considerando que você possui 600 g de ovos e 30 g de queijo ralado.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Nova situação-problema: Como as novas situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade, devem ser abordadas, nesse momento, situações em que os reagentes não estão em relações estequiométricas, em que um deles pode se consumir completamente antes, destacando semelhanças e diferenças relativamente às situações e aos exemplos nos quais esteja presente o uso de relações algébricas simples, a fim de promover a reconciliação integrativa. Segundo Moreira (2013), devem-se explorar relações entre ideias, conceitos e proposições, bem como apontar similaridades e diferenças importantes, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes.

Indica-se a realização de atividade com reagentes, produtos e excesso do simulador interativo gratuito do Portal PhET, que, dependendo dos recursos à disposição, pode ser efetuada em laboratório de informática ou em aparelho celular com acesso à Internet. Nessa tarefa, os alunos devem ter à disposição diferentes quantidades de reagentes/ingredientes e, com o auxílio da ilustração, pode-se verificar qual a quantidade máxima de produto a ser obtida, qual(is) reagente(s)/ingrediente(s) está(ão) em excesso e qual deles está limitando a formação de produto, atentando-se ao rearranjo dos átomos nas moléculas ocorrido na reação química.

Convém convidar os alunos a jogarem os diferentes níveis do jogo disponíveis no simulador, desafiando-os a utilizar também as opções de ocultar moléculas e ocultar os números. Na Figura 5, tem-se um exemplo do uso dos ingredientes culinários, empregados nessa proposta como organizadores prévios. O uso de analogias ilustradas é recomendado por Gafoor e Shilna (2012), pois faz uma ponte entre um conceito abstrato e os conhecimentos prévios dos alunos.

Figura 5 - Atividade com simulação para reagentes em excesso e limitantes



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Aprofundamento do conteúdo: Sugere-se novamente uma aula expositivo-dialogada, iniciando com exemplos culinários simples – como receita de sanduíche e de omeletes –, escritos na forma de equações químicas, tendo a função de atuar como organizadores prévios, dessa vez para o entendimento dos conceitos de reagente limitante e de reagente em excesso. Após a explanação dos conteúdos, é conveniente que os alunos tenham tempo em aula para resolver exercícios que envolvam situações de reações em condições estequiométricas, solicitando o auxílio do professor se necessário. Ainda dentro do aprofundamento do conteúdo, podem ser trabalhadas questões envolvendo pureza de reagentes e rendimento das reações.

Anteriormente à introdução deste último tópico, indica-se a realização da atividade prática, conforme a Figura 5, podendo atuar como um organizador prévio, usando novamente um exemplo culinário como analogia para um conceito químico.

Figura 6 - Atividade prática sobre rendimento de reações

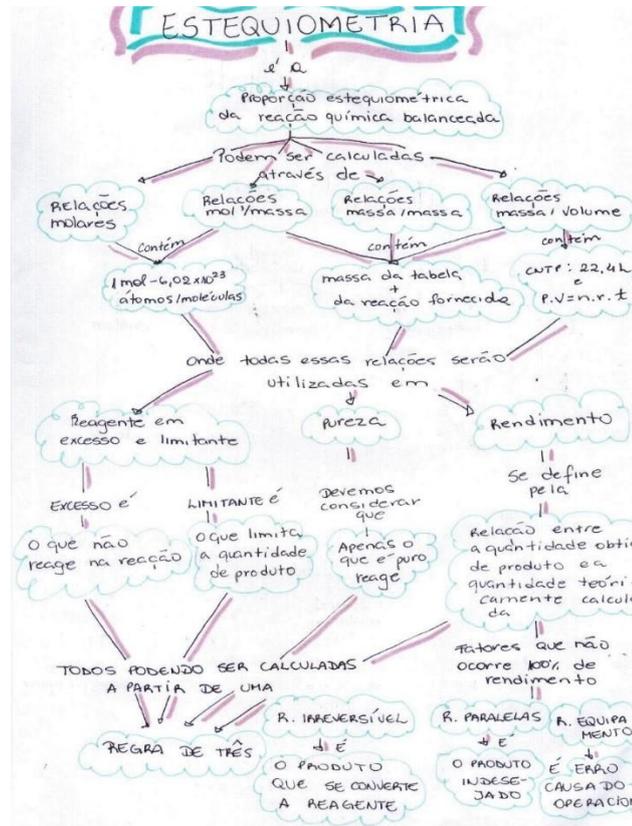
Atividade: Solicitar aos alunos que separem 50 grãos de milho de pipoca e os insiram pipoqueira elétrica. Depois que a pipoca terminar de estourar, deverão contar a quantidade de grãos que estourou e que não estourou para em seguida:

1. Calcular o rendimento percentual do "processo".
2. Considerando este rendimento, calcular a quantidade de milho que deveria ser colocada na pipoqueira para ter 50 grãos de pipoca estourada.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Avaliação formativa: Indica-se a construção de um mapa conceitual (Figura 7) como atividade avaliativa. É interessante que sejam mantidos os mesmos grupos da construção do mapa mental (situação inicial) para que estes possam ser comparados na busca de evidências de aprendizagem significativa. Outra atividade que pode compor a avaliação formativa é a resolução de uma questão-desafio, tendo as características de uma situação-problema, em que os diversos aspectos abordados no aprofundamento do conteúdo sejam aplicados de forma contextualizada.

Figura 7 - Atividade colaborativa: mapa conceitual de estequiometria



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Avaliação da UEPS: A fim de aprimorar e/ou validar a estratégia utilizada para o ensino de estequiometria, além das avaliações formativas e somativas que visam a identificar a evolução conceitual dos alunos, buscando indícios de aprendizagem significativa, é importante que os estudantes avaliem a unidade de ensino proposta. Essa avaliação pode se dar por meio de uma roda de conversa, ou mesmo um questionário avaliativo com questões fechadas do tipo escala *Likert* de cinco pontos e questões abertas.

Avaliação somativa individual: Para avaliar o alcance de determinados objetivos de aprendizagem ao final da aplicação da UEPS, comumente realiza-se uma avaliação baseada em provas. A sugestão é que sejam utilizadas tanto questões com ingredientes culinários quanto questões de estequiometria (Figura 8).

Figura 8 - Exemplos de questões para avaliação somativa individual

9. Pesando em uma balança de cozinha os ingredientes disponíveis, você verificou que possui 156 g de ovos, 250 g de leite, além de 2 latas de leite condensado. A partir destes ingredientes, será possível fazer um pudim de até quantos gramas, seguindo a receita abaixo? (0,8 pt)

Receita de pudim (890g):

1 lata de leite condensado

1 xícara de leite (300 g)

3 ovos (195 g)

10. O sulfato de bário é usado como contraste em exames radiológicos e pode ser obtido pela reação de cloreto de bário com ácido sulfúrico. Se forem adicionados 150 g de cloreto de bário a uma solução contendo 80 g de ácido sulfúrico, qual será a massa de sulfato de bário produzida? (0,8 pt)

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Aula final: Resolução de dúvidas referentes às questões da atividade avaliativa.

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Química – Curso de Licenciatura em Química

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caro aluno(a)

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), do estudo/pesquisa intitulado “Utilização de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o ensino de estequiometria”, conduzida por Franciele Haupt. Este estudo tem por objetivo a verificar as contribuições da utilização de uma metodologia no ensino de química.

Sua participação nessa pesquisa consistirá em responder uma questão inicial e uma questão desafio, sendo uma antes do início das aulas e uma ao final do período de estágio, bem como participação das atividades propostas em sala de aula. Os resultados deste estudo serão utilizados para produção e publicação de textos de caráter científico, pois estes dados farão parte de um Trabalho de Conclusão de Curso. É importante que você expresse a sua opinião livremente ao responder aos questionários. Em hipótese alguma os resultados terão influência na avaliação e nas notas desta disciplina. A sua identidade será mantida em sigilo.

DECLARAÇÃO

Eu _____
_____ declaro que fui esclarecido(a) sobre os objetivos e justificativas deste estudo de forma clara e detalhada e que concordo em participar desta pesquisa.

Novo Hamburgo, ____ de _____ de 2019.

Assinatura do(a) responsável: _____

APÊNDICE C – ANÁLISE DAS PROVAS DO ESTUDO PILOTO

	Questão 9		Questão 10	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
A	Calculou* a quantidade necessária de ovos para a quantidade dada de leite e vice-versa, indicando corretamente o ingrediente limitante, e calculou* a quantidade de pudim obtida a partir deste.	Método A	Calculou* a quantidade necessária de cloreto de bário para a quantidade fornecida de ácido sulfúrico e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante e calculando* a quantidade de produto formado a partir desta.	Método A
B	Considerou que a massa total dos três ovos era a massa de apenas um ovo e desenvolveu o restante do cálculo também de forma incorreta.	Erro de interpretação da questão (enunciado)	Identificou o reagente limitante (não apresentou o cálculo) e calculou* a quantidade de produto gerado a partir deste.	Método A
C	Calculou* a quantidade de pudim que seria obtida considerando a quantidade dada de leite e considerando a quantidade dada de ovos. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado e, portanto, os ovos seriam o limitante.	Método B	Calculou* a quantidade de produto que seria formada a partir da massa fornecida de cada um dos reagentes e considerou o menor valor encontrado como o efetivamente gerado.	Método B
D	Calculou* a quantidade de pudim que seria obtida considerando a quantidade dada de leite, considerando a quantidade dada de ovos e considerando a quantidade de leite condensado. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Calculou* a quantidade necessária de cloreto de bário para a quantidade fornecida de ácido sulfúrico e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante. Porém, calculou a massa de produto que seria formado considerando a quantidade total do reagente em excesso.	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos.

	Questão 9		Questão 10	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
E	Não considerou que haveria ingrediente limitante e ingredientes em excesso, apenas somou as massas fornecidas dos ingredientes.	Massa de produto como a soma direta da massa disponível de ingredientes, sem considerar proporção	Calculou* a quantidade necessária de cloreto de bário para a quantidade fornecida de ácido sulfúrico e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante e calculando* a quantidade de produto formado a partir desta.	Método A
F	Não identificou o ingrediente limitante e não considerou corretamente a proporção da receita. Calculou a quantidade necessária de leite para a quantidade fornecida de ovos e vice-versa (método A), porém não utilizou os resultados para identificar o limitante, e sim somou estes valores com a quantidade de leite condensado dada na receita original, para obter a massa de pudim.	Massa de produto como a soma direta da massa disponível de ingredientes	Calculou* a quantidade de produto que seria formada a partir da massa fornecida de cada um dos reagentes e considerou como a massa de produto a soma destes valores.	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos.
G	Calculou* o percentual em relação à massa do pudim da receita original que seria possível obter com cada quantidade de ingrediente disponível. Identificou que com a quantidade de ovos seria obtido o menor percentual (80%) e, portanto, este seria o ingrediente limitante. Calculou* que a massa obtida seria 80% da massa da receita original.	Método B	Não interpretou corretamente os dados fornecidos e não soube "montar" corretamente a regra de três. considerou a massa fornecida de ácido sulfúrico como se fosse a massa de produto gerada pela quantidade fornecida de cloreto de bário e calculou qual seria a massa de produto gerada pela massa de 1 mol de cloreto de bário.	Interpretação da questão (enunciado)

	Questão 9		Questão 10	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
H	Calculou* a quantidade de pudim que seria obtida considerando a quantidade dada de leite, considerando a quantidade dada de ovos e considerando a quantidade de leite condensado. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Calculou* a massa de produto gerada a partir da massa dada do reagente limitante, mas não apresentou cálculo de como identificou este.	
I	Calculou* a quantidade necessária de leite para a quantidade dada de ovos, indicando corretamente o ingrediente limitante, e calculou* a quantidade de pudim obtida a partir deste.	Método A	Calculou* a quantidade necessária de cloreto de bário para a quantidade fornecida de ácido sulfúrico e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante e calculando* a quantidade de produto formado a partir desta.	Método A
J	Calculou* as quantidades necessárias dos ingredientes em excesso para a quantidade disponível do limitante (ovos) e somou as massas encontradas para obter a massa de pudim.	Método A	Calculou* a quantidade de ácido sulfúrico que seria necessária para reagir com a quantidade fornecida de cloreto de bário, identificando o cloreto de bário como reagente limitante, e calculou* a quantidade de produto formado a partir deste.	Método A
K	Não considerou que haveria ingrediente limitante e ingredientes em excesso, apenas somou as massas fornecidas dos ingredientes.	C) Massa de produto como a soma direta da massa disponível de ingredientes	Não montou corretamente a reação. Não considerou que haveria um reagente limitante e um reagente em excesso ou não soube como identificá-los. Usou os dados fornecidos para ambos na montagem da regra três.	Erro na montagem de fórmula química; Não considerou o problema como um caso não estequiométrico.

	Questão 9		Questão 10	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
L	Calculou que seria possível fazer metade da receita, sem considerar que dessa forma haveria sobra de todos os reagentes, ou seja não soube interpretar o que estava sendo pedido no enunciado	Erro de interpretação da questão (enunciado)	Não identificou o reagente limitante e calculou a quantidade de produto formada a partir da massa total do reagente em excesso.	Não considerou o problema como um caso não estequiométrico
M	Calculou* a quantidade de pudim que seria obtida considerando a quantidade dada de leite e considerando a quantidade dada de ovos. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado e, portanto, os ovos seriam o limitante.	Método B	Não identificou o reagente limitante e calculou a quantidade de produto formada a partir da massa total do reagente em excesso.	Não considerou o problema como um caso não estequiométrico
N	Não considerou que haveria ingrediente limitante e ingredientes em excesso e não utilizou a proporção da receita. Somou as quantidades fornecidas de ovos e leite com a quantidade de leite condensado presente na receita original.	C) Massa de produto como a soma direta da massa disponível de ingredientes	Calculou* a quantidade necessária de cloreto de bário para a quantidade fornecida de ácido sulfúrico e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante e calculando* a quantidade de produto formado a partir desta.	Método A
O	Calculou* a quantidade de pudim que seria obtida considerando a quantidade dada de leite e considerando a quantidade dada de ovos. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado e, portanto, os ovos seriam o limitante.	Método B	Calculou* a quantidade necessária de cloreto de bário para a quantidade fornecida de ácido sulfúrico e vice-versa, identificando corretamente o reagente limitante e calculando* a quantidade de produto formado a partir desta.	Método A

	Questão 9		Questão 10	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
P	Calculou* a quantidade necessária de leite para a quantidade dada de ovos, indicando corretamente o ingrediente limitante, e calculou* a quantidade de pudim obtida a partir deste.	Método A	Calculou* a quantidade de ácido sulfúrico que seria necessária para reagir com a quantidade fornecida de cloreto de bário, identificando o cloreto de bário como reagente limitante, e calculou* a quantidade de produto formado a partir deste.	Método A
Q	Não apresentou nenhum cálculo	Não resolveu	Não identificou o reagente limitante e calculou a quantidade de produto formada a partir da massa total do reagente em excesso.	Não considerou o problema como um caso não estequiométrico
R	Calculou* a quantidade de pudim que seria obtida considerando a quantidade dada de leite e considerando a quantidade dada de ovos. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Calculou* a quantidade de produto que seria formada a partir da massa fornecida de cada um dos reagentes e considerou o menor valor encontrado como o efetivamente gerado.	Método B
S	Não apresentou o cálculo realizado	Não resolveu	Calculou a quantidade de produto que seria gerado considerando a massa fornecida de cada reagente específico corretamente, mas não identificou qual seria a resposta correta.	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos.

	Questão 9		Questão 10	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
T	Calculou* a quantidade de pudim que seria obtida considerando a quantidade dada de leite, considerando a quantidade dada de ovos e considerando a quantidade de leite condensado. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Não resolveu	Não Resolveu

Questão 9: exemplo culinário com ingrediente limitante

Questão 10: reação química com reagente limitante

*utilizando regra de três

APÊNDICE D – ANÁLISE DAS PROVAS DO EXPERIMENTO FINAL

Aluno	Questão 7		Questão 8	
	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
1	Não soube montar a regra de três corretamente; Não identificou se o ingrediente limitante era o chocolate ou o creme de leite.	Erro de montagem de regra de três	Não soube escrever a equação da reação química; Não soube montar a regra de três corretamente; Não identificou o reagente limitante.	Equação química; Não considerou o problema como um caso não estequiométrico; Erro na montagem da regra de três
2	Calculou* a quantidade de mousse que seria obtida considerando a quantidade dada de chocolate e considerando a quantidade dada de creme de leite. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Calculou a quantidade de produto que seria gerado considerando a massa fornecida de cada reagente individualmente, mas não identificou qual seria a resposta correta e apresentou uma terceira regra de três relacionando os dados incorretamente.	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos.
3	Identificou que o chocolate é o ingrediente limitante e calculou* a quantidade de mousse que seria obtida a partir da quantidade dada deste.	Método A	Identificou corretamente o reagente limitante e usou os dados corretamente a regra de três, mas trocou hidróxido de cálcio por hidróxido de sódio na equação química.	Erro na representação de fórmula química

Questão 7			Questão 8	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
4	Calculou* a quantidade de mousse que seria obtida considerando a quantidade dada de chocolate e considerando a quantidade dada de creme de leite. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A
5	Identificou que o chocolate é o ingrediente limitante e calculou * a quantidade de mousse que seria obtida a partir da quantidade dada deste.	Método A	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A
6	Não resolveu a questão	Não Resolveu	Não resolveu a questão	Não Resolveu
7	Não identificou o ingrediente limitante; não considerou a proporção da receita; não utilizou regra de três	Massa de produto como a soma direta da massa disponível de reagentes, sem considerar a proporção da receita	Não soube escrever corretamente as fórmulas químicas. Não identificou o reagente limitante; Não soube montar corretamente a regra de três	Erro de representação de fórmulas químicas; Não considerou o problema como um caso não estequiométrico; Erro na montagem da regra de três

Questão 7			Questão 8	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
8	Não identificou o ingrediente limitante; não considerou a proporção da receita; não utilizou regra de três	Massa de produto como a soma direta da massa disponível de reagentes, sem considerar a proporção da receita	Errou a massa molar dos reagentes; Identificou corretamente o reagente limitante e considerou como a massa de hidróxido de alumínio produzida a soma das massas de reagentes que participam da reação, sem considerar que haveria formação de mais um produto	Erro de cálculo da massa molar; Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos
9	Identificou que o chocolate é o ingrediente limitante e calculou* a quantidade de mousse que seria obtida a partir da quantidade dada deste.	Método A	Calculou a quantidade de produto que seria gerado considerando a massa fornecida de cada reagente individualmente, mas não identificou qual seria a resposta correta e apresentou uma terceira regra de três relacionando os dados incorretamente.	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos.
10	Identificou que o chocolate é o ingrediente limitante e calculou* a quantidade de mousse que seria obtida a partir da quantidade dada deste.	Método A	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio e vice-versa, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A

Questão 7			Questão 8	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
11	Não identificou corretamente o ingrediente limitante e calculou* a quantidade de mousse a partir da quantidade dada de creme de leite	Erro na identificação do ingrediente limitante	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio e vice-versa, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A
12	calculou* a quantidade de mousse que seria obtida considerando a quantidade dada de cada um dos ingredientes (método B), mas não identificou o resultado final	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos.	Calculou a quantidade de produto que seria gerado considerando a massa fornecida de cada reagente individualmente, mas não identificou qual seria a resposta correta e apresentou uma terceira regra de três relacionando os dados incorretamente.	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos
13	Calculou* a quantidade de mousse que seria formada a partir da quantidade dada de chocolate e de creme de leite (método B), mas somou os valores encontrados com a quantidade dada de açúcar	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos.	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio e vice-versa, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A

Questão 7			Questão 8	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
14	Calculou* a quantidade necessária de chocolate para a quantidade dada de creme leite e vice-versa, indicando corretamente o ingrediente limitante, e calculou* a quantidade de mousse obtida a partir deste.	Método A	Não resolveu a questão	Não Resolveu
15	Calculou* a quantidade de mousse que seria obtida considerando a quantidade dada de chocolate e considerando a quantidade dada de creme de leite, porém errou ao digitar os dados na calculadora, o que fez com que identificasse incorretamente a quantidade de mousse produzida	Erro de digitação na calculadora	Não resolveu a questão	Não Resolveu
16	Afirmou que não poderia utilizar a receita por possuir quantidades menores de ingredientes, não considerou que poderia utilizar a mesma proporção para fazer uma porção menor	Erro de interpretação da questão (enunciado)	Calculou* a quantidade de produto que seria formada a partir da massa fornecida de cada um dos reagentes e considerou o menor valor encontrado como o efetivamente gerado.	Método B

Questão 7			Questão 8	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
17	Identificou que o chocolate é o ingrediente limitante e calculou* a quantidade de mousse que seria obtida a partir da quantidade dada deste.	Método A	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio e vice-versa, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A
18	Não identificou o ingrediente limitante; não considerou a proporção da receita, apenas somou a quantidade de ingredientes disponível.	Massa de produto como a soma direta da massa disponível de ingredientes	Identificou corretamente o reagente limitante, mas utilizou os dados de forma incorreta para calcular a massa de produto (relacionou com a massa de reagente limitante que seria necessária para consumir todo o reagente em excesso)	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos
19	Calculou* a quantidade de mousse que seria obtida considerando a quantidade dada de chocolate e considerando a quantidade dada de creme de leite. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Não soube escrever corretamente as fórmulas químicas. Calculou* a quantidade de produto que seria formada a partir da massa fornecida de cada um dos reagentes e considerou o menor valor encontrado como o efetivamente gerado (método B)	Erro na representação de fórmulas químicas

Questão 7			Questão 8	
Aluno	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria
20	Erro de interpretação ao extrair os dados do enunciado fez com que considerasse o açúcar como ingrediente limitante e calculou a quantidade de mousse possível de produzir a partir deste.	Erro de interpretação da questão (enunciado)	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio e vice-versa, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A
21	Calculou* a quantidade de mousse que seria obtida considerando a quantidade dada de chocolate e considerando a quantidade dada de creme de leite. Identificou que a quantidade correta seria o menor valor encontrado.	Método B	Calculou* a quantidade de sulfato de alumínio necessária para reagir com a quantidade dada de hidróxido de cálcio, identificando o reagente limitante e calculando a quantidade de produto formada a partir deste.	Método A
22	Não identificou o ingrediente limitante; não considerou a proporção da receita, apenas somou a quantidade de ingredientes disponível.	Massa de produto como a soma direta da massa disponível de ingredientes	Não resolveu a questão	Não Resolveu
23	Apresentou a resposta correta mas apagou o desenvolvimento da questão		Calculou a quantidade de produto que seria gerado considerando a massa fornecida de cada reagente individualmente, mas somou esses valores para obter a massa real de produto.	Erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos

Questão 7: exemplo culinário com ingrediente limitante

Questão 8: reação química com reagente limitante

*utilizando regra de três