



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JEFERSON FERRETI RIBAS

**PRODUÇÃO ESCRITA DE ESTUDANTES DO ENSINO
MÉDIO EM QUESTÕES DE CIÊNCIAS DO PISA:
UM OLHAR PARA CONHECIMENTOS
E PRÁTICAS CIENTÍFICAS**

Londrina
2024

JEFERSON FERRETI RIBAS

**PRODUÇÃO ESCRITA DE ESTUDANTES DO ENSINO
MÉDIO EM QUESTÕES DE CIÊNCIAS DO PISA:
UM OLHAR PARA CONHECIMENTOS
E PRÁTICAS CIENTÍFICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Orientador(a): Profa. Dra. Fabiele Cristiane Dias Broietti

Londrina
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de
Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

J45p	<p>RIBAS, JEFERSON FERRETI.</p> <p>Produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA: um olhar para conhecimentos e Práticas Científicas / JEFERSON FERRETI RIBAS. Londrina, 2024. 113 f.</p> <p>Orientador: FABIELE CRISTIANE DIAS BROIETTI. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2024. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Produção Escrita - Tese. 2. Questões de Ciências do PISA - Tese. 3. Conhecimentos Científicos - Tese. 4. Práticas Científicas - Tese. I. BROIETTI, FABIELE CRISTIANE DIAS. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 37</p>
------	---

JEFERSON FERRETI RIBAS

**PRODUÇÃO ESCRITA DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO EM
QUESTÕES DE CIÊNCIAS DO PISA:
UM OLHAR PARA CONHECIMENTOS E PRÁTICAS CIENTÍFICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Fabiele Cristiane Dias Broietti
Orientadora
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Rosana Franzen Leite
Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE Campus Toledo

Prof. Dr. Enio de Lorena Stanzani
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
– UTFPR Campus Apucarana

Profa. Dra. Marinez Meneghello Passos
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Sergio de Mello Arruda
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 10 de junho de 2022.

RIBAS, Jeferson Ferreti. **Produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA: um olhar para conhecimentos e Práticas Científicas.** 2024. 113 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

RESUMO

Nesta Tese é apresentado um estudo, de natureza qualitativa, relacionado à análise da produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos. O estudo tem como objetivo responder a questão de pesquisa: “Quais conhecimentos científicos e Práticas Científicas são manifestadas na produção escrita de estudantes do Ensino Médio ao responderem questões de Ciências do PISA? E quais suas relações?”. Para tanto, questões de Ciências da avaliação internacional em larga escala PISA foram propostas a 101 estudantes da 3ª Série do Ensino Médio de três instituições públicas de ensino localizadas no Município de Londrina. À luz dos procedimentos metodológicos da Análise de Conteúdo, as produções escritas, que correspondem às respostas/explicações dos estudantes, foram coletadas, organizadas, analisadas, interpretadas e agrupadas em categorias. Apesar da dificuldade da maioria dos estudantes em mobilizar conhecimentos necessários para explicar fenômenos científicos e/ou lidar com as informações das questões para analisar e interpretar dados e, conseqüentemente, produzir argumentos e conclusões baseadas em evidências científicas, os resultados evidenciam que há relações entre os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas manifestadas na produção escrita de uma parcela dos estudantes que responde satisfatoriamente as questões de Ciências do PISA. Nesse sentido, infere-se que esses indivíduos mobilizam e, conseqüentemente, relacionam conhecimentos e Práticas Científicas ao construir respostas/explicações (produções escritas) que se aproximam dos objetivos de resolução das questões, denotando o envolvimento com as práticas de desenvolver e utilizar modelos, planejar e realizar investigações, analisar e interpretar dados, utilizar a matemática, fornecer argumentos baseados em evidências e construir explicações científicas. Logo, pode-se dizer que estes estudantes possuem algumas capacidades e habilidades para utilizar conhecimentos atinentes aos conceitos e processos da Ciência ao resolverem determinadas questões de Ciências do PISA.

Palavras-chave: Produção Escrita. Questões de Ciências do PISA. Conhecimentos Científicos. Práticas Científicas. Letramento Científico.

RIBAS, Jeferson Ferreti. **Written production of High School students in PISA Science questions: a look at scientific knowledge and practices.** 2024. 113 p. Thesis (Doctorate in Science and Mathematics Education) – Center for Exact Sciences, State University of Londrina, Londrina, 2024.

ABSTRACT

This thesis presents a qualitative study related to the analysis of High School students' written production in PISA Science questions that address chemical concepts. The study aims to answer the research question: "What scientific knowledge and Scientific Practices are manifested in the written production of High School students when answering PISA Science questions? What are your relations?". Furthermore, scientific questions from the large-scale international assessment, PISA, were proposed to 101 third-year high school students who were from three public educational institutions located in the city of Londrina. Following the methodological procedures of Content Analysis, students' written responses and explanations were collected, organized, analyzed, interpreted, and categorized. Despite the challenges most students face in applying the necessary knowledge to explain scientific phenomena, analyzing and interpreting data from questions, and ultimately producing evidence-based arguments and conclusions, the results demonstrate a connection between scientific knowledge and practices. This relationship is evident in a subset of students who satisfactorily answer the PISA science questions related to rain production. Therefore, it is inferred that these individuals apply and integrate knowledge and scientific practices when constructing their written responses and explanations. Their answers demonstrate engagement with activities such as developing and using models, planning and conducting investigations, analyzing and interpreting data, using mathematics, providing evidence-based arguments, and constructing scientific explanations, which align with the objectives of addressing the issues. Therefore, it can be said that these students possess skills in applying scientific concepts and processes when solving certain PISA science questions.

Key-words: Written Production. PISA Science Questions. Scientific Knowledge. Scientific Practices. Scientific Literacy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA.....	59
Figura 2	Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio para a questão de tema Milho.....	68
Figura 3	Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio para a questão de tema Massa de Pão.....	77
Figura 4	Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio para a questão de tema Conversor Catalítico.....	85
Figura 5	Conhecimentos e Práticas Científicas na PE de estudantes do Ensino Médio.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Conhecimentos científicos de acordo com o PISA.....	21
Quadro 2	Documentos norte-americanos relacionados ao ensino e aprendizagem em Ciências.....	23
Quadro 3	Práticas Científicas e algumas descrições.....	26
Quadro 4	Capacidades relacionadas à PC1 – Fazer perguntas.....	27
Quadro 5	Capacidades relacionadas à PC2 – Desenvolver e utilizar modelos.....	28
Quadro 6	Capacidades relacionadas à PC3 – Planejar e realizar investigações.....	29
Quadro 7	Capacidades relacionadas à PC4 – Analisar e interpretar dados...	31
Quadro 8	Capacidades relacionadas à PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional.....	32
Quadro 9	Capacidades relacionadas à PC6 – Construir explicações.....	33
Quadro 10	Capacidades relacionadas à PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências.....	34
Quadro 11	Capacidades relacionadas à PC8 – Obter, avaliar e comunicar informações.....	35
Quadro 12	Características dos trabalhos acadêmicos que versam sobre produção escrita.....	40
Quadro 13	Características das instituições de ensino em que os dados foram coletados.....	45
Quadro 14	Algumas informações sobre o PISA.....	47
Quadro 15	Questão de tema Milho.....	48
Quadro 16	Questão de tema Pão.....	50
Quadro 17	Questão de tema Conversor Catalítico.....	51
Quadro 18	Respostas esperadas para a questão de tema Conversor Catalítico.....	52
Quadro 19	Práticas Científicas identificadas nas questões.....	53

Quadro 20	Categorias emergentes da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA.....	59
Quadro 21	Categorização da produção escrita dos estudantes para a questão de tema Milho.....	60
Quadro 22	Enunciado da questão de tema Milho.....	61
Quadro 23	Categorização da produção escrita dos estudantes para a questão de tema Massa de Pão.....	70
Quadro 24	Enunciado da questão de tema Massa de Pão.....	70
Quadro 25	Categorização da produção escrita dos estudantes para a questão de tema Conversor Catalítico.....	79
Quadro 26	Enunciado da questão de tema Conversor Catalítico.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Alfabetização Científica
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CNS	Conselho Nacional de Saúde
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
GEPEMA	Grupo de Estudos e Pesquisa em Educação Matemática e Avaliação
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LC	Letramento Científico
LDB	Lei de Diretrizes e Bases
MEC	Ministério da Educação
NRC	<i>National Research Council</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
PC	Práticas Científicas
PE	Produção(ões) Escrita(s)
PECEM	Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática
PISA	<i>Programme for International Student Assessment</i> (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes)
PNE	Plano Nacional de Educação
UEL	Universidade Estadual de Londrina

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
1.1 LETRAMENTO CIENTÍFICO.....	13
1.2 CONHECIMENTOS E PRÁTICAS CIENTÍFICAS.....	20
1.3 PRODUÇÃO ESCRITA.....	36
2 CAMINHOS DA INVESTIGAÇÃO	43
2.1 CONTEXTO DA PESQUISA.....	44
2.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO: DA ORGANIZAÇÃO À ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DA PESQUISA.....	54
3 A PRODUÇÃO ESCRITA DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO EM QUESTÕES DE CIÊNCIAS DO PISA: CONHECIMENTOS E PRÁTICAS CIENTÍFICAS	58
3.1 ANÁLISE DA PRODUÇÃO ESCRITA: QUESTÃO DE TEMA MILHO.....	60
3.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO ESCRITA: QUESTÃO DE TEMA MASSA DE PÃO.....	69
3.3 ANÁLISE DA PRODUÇÃO ESCRITA: QUESTÃO DE TEMA CONVERSOR CATALÍTICO.....	78
3.4 INTEGRANDO AS ANÁLISES: CONHECIMENTOS E PRÁTICAS CIENTÍFICAS NA PRODUÇÃO ESCRITA DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO.....	86
CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS	94
APÊNDICES	100
APÊNDICE A – Produções escritas dos estudantes para a questão de tema Milho.....	101
APÊNDICE B – Produções escritas dos estudantes para a questão de tema Massa de Pão.....	106
APÊNDICE C – Produções escritas dos estudantes para a questão de tema Conversor Catalítico.....	110

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas últimas duas décadas, estudos realizados no campo da Educação Matemática (ALVES, 2006; CELESTE, 2008; LOPEZ, 2010; PEDROCHI-JUNIOR, 2012; SANTOS, 2014) têm ressaltado a importância que a produção escrita (PE) possui na perspectiva da avaliação enquanto prática de investigação caracterizada por possibilitar ao professor certificar, regular e orientar a aprendizagem dos estudantes e repensar seu ensino.

Estes estudos destacam a relevância que a atividade e a análise da produção escrita possuem como prática de investigação em sala de aula e oportunidade de ensino e de aprendizagem, uma vez que pode permitir ao professor compreender como os alunos interpretam e conduzem as estratégias e procedimentos adotados nas resoluções de questões utilizadas em provas, trabalhos ou atividades, demonstrando o que sabem e suas dificuldades. Ou seja, ao investigar a produção escrita dos estudantes, pode ser possível conhecer “como e o que” está sendo ensinado e, “como e o que” o aluno está aprendendo (CELESTE, 2008), possibilitando orientar o professor na tomada de decisões frente aos processos de ensino e de aprendizagem.

As pesquisas mencionadas fazem parte de investigações desenvolvidas no âmbito do grupo de pesquisa GEPEMA¹ e pautaram-se na análise da produção escrita de estudantes da Educação Básica (Ensinos Fundamental e Médio) em questões de Matemática com o intuito de conhecer, em geral, como os alunos lidam com essas questões em situação de prova (ALVES, 2006; CELESTE, 2008; LOPEZ, 2010); e em dois estudos de caráter bibliográfico relacionados à avaliação escolar como oportunidade de aprendizagem (PEDROCHI-JUNIOR, 2012) e utilização da análise da produção escrita como estratégia de avaliação para investigar os processos de ensino e de aprendizagem da Matemática (SANTOS, 2014).

Embora a temática produção escrita se apresente com relevância em inúmeras pesquisas da Educação Matemática, estudos atinentes ao tema apresentam pouca expressividade em investigações da área Ensino de Ciências e, nesse sentido,

¹ GEPEMA – Grupo de Estudos e Pesquisa em Educação Matemática e Avaliação, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PECEM), Universidade Estadual de Londrina (UEL).

estendem possibilidades de investigações a serem realizadas também por pesquisadores desta área (RIBAS; BROIETTI, 2021), de modo a contribuir para a inserção da atividade e análise da produção escrita nas aulas de Ciências da Natureza, podendo possibilitar aprendizagens para os alunos e reflexões para o professor, a fim de contribuir para os processos de ensino e de aprendizagem com vistas ao Letramento Científico (LC).

Ao longo dos últimos anos, pesquisadores brasileiros da área Ensino de Ciências vêm desenvolvendo estudos contributos às reflexões sobre as diferentes funções da Educação Científica, apontando para a ideia de Alfabetização Científica (AC) / Letramento Científico (LC) (CHASSOT, 2003; LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001; MORTIMER, 2002; SANTOS, 2007; SANTOS; MORTIMER, 2001; SASSERON; CARVALHO, 2008). Em geral, são estudos que apresentam reflexões, discussões, ideias, e/ou propostas com o objetivo de superar os problemas relacionados ao ensino descontextualizado das Ciências da Natureza praticado nas escolas da Educação Básica, visando uma formação de cidadãos que sejam capazes de tomar decisões, resolver problemas e participar de discussões que exijam a compreensão da Ciência e tecnologia para a vida em sociedade.

Diante do contexto elucidado, nesta Tese é apresentado um estudo, de natureza qualitativa, que busca integrar as ideias da atividade e análise da produção escrita com os pressupostos de uma educação com vistas ao Letramento Científico. Trata-se de uma investigação relacionada à produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos, que tem o objetivo de identificar conhecimentos científicos e Práticas Científicas manifestadas na produção escrita de estudantes do Ensino Médio ao responderem questões de Ciências do PISA e suas relações.

Assim, esta pesquisa de Doutorado pretende responder a seguinte questão: Quais conhecimentos científicos e Práticas Científicas são manifestadas na produção escrita de estudantes do Ensino Médio ao responderem questões de Ciências do PISA? E quais suas relações?

A fim de evidenciar o caminho da pesquisa, a presente Tese está estruturada da seguinte forma: no primeiro capítulo, discute-se acerca do *Letramento Científico, Conhecimentos e Práticas Científicas* e, *Produção Escrita*, temas que fundamentam o objetivo e o problema de pesquisa, baseados em estudos nacionais e internacionais sobre Letramento em Ciências, conhecimento científico e Práticas

Científicas (NRC, 2012) e, em estudos nacionais relacionados à linguagem das Ciências, especificamente sobre produção escrita.

No segundo capítulo, intitulado *Caminhos da Investigação*, é apresentado o percurso metodológico da pesquisa: o contexto em que ela se desenvolveu enfatizando, principalmente, os participantes e as características das questões utilizadas como instrumento de coleta e análise da produção escrita; e, algumas considerações acerca da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), metodologia adotada para organizar e analisar as informações da investigação.

Na sequência, no terceiro capítulo, intitulado *A Produção Escrita de Estudantes do Ensino Médio em Questões de Ciências do PISA: Conhecimentos e Práticas Científicas*, são apresentados os resultados a respeito do processo de análise e interpretação das informações coletadas nesta investigação, que correspondem à produção escrita dos estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA, de modo a evidenciar, principalmente, conhecimentos científicos e Práticas Científicas manifestadas pelos sujeitos ao resolverem as questões.

Por fim, nas *Considerações Finais* são apresentadas algumas impressões e reflexões a respeito da pesquisa realizada, buscando integrar ideias atinentes à atividade e análise da produção escrita com os pressupostos de uma educação para as Ciências da Natureza com vistas ao Letramento Científico.

Os apêndices apresentam as produções escritas dos estudantes para as questões utilizadas nesta investigação, das temáticas Milho (A), Massa de Pão (B) e Conversor Catalítico (C).

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O primeiro capítulo desta Tese apresenta os principais referenciais teóricos que fundamentam a pesquisa. No item 1.1 elucida-se algumas compreensões acerca do Letramento Científico, com base na literatura internacional e nacional que norteiam a presente investigação. O item 1.2 apresenta algumas ideias sobre conhecimento científico, com ênfase nas Práticas Científicas (NRC, 2012), que orientam as análises da produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos. Por fim, no item 1.3 são apresentadas algumas considerações sobre a temática produção escrita.

1.1 LETRAMENTO CIENTÍFICO

Quando se fala em um ensino de Ciências visando a promoção de uma formação cidadã dos estudantes, sendo capazes de agirem e atuarem em uma sociedade que cada vez mais exige a tomada de decisões e discussões baseadas em aspectos da Ciência e tecnologia, não tem como não relacioná-lo a um ensino fundamentado nos pressupostos do Letramento Científico (LC).

O termo Letramento Científico, apesar de ser abordado e discutido em inúmeros documentos educacionais e pesquisas sobre a Didática das Ciências (em âmbito nacional e internacional), apresenta múltiplas interpretações que refletem uma inconsistência de significação no emprego da expressão, especialmente no Brasil, uma vez que pesquisadores da área utilizam os termos Alfabetização Científica (AC) ou Letramento Científico (LC) ao se referir à Educação Científica.

Sasseron e Carvalho (2011), em uma pesquisa de revisão bibliográfica sobre o conceito Alfabetização Científica, mencionam que há uma variação na utilização do termo na literatura internacional e nacional. As autoras destacam que, em língua espanhola, “*Alfabetización Científica*” é o termo designado a um ensino de Ciências pautado na promoção de capacidades e competências necessárias à participação dos cidadãos nos processos de decisões que envolvem a sociedade e, com o mesmo objetivo, o termo aparece nas línguas inglesa e francesa, respectivamente, denominados “*Scientific Literacy*” e “*Alphabétisation Scientifique*” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 60). Em Portugal, há a utilização do termo

“*Literacia Científica*” (TENREIRO-VIEIRA; VIEIRA, 2013), enquanto no Brasil, em virtude da pluralidade semântica, autores da área Ensino de Ciências empregam as expressões “Letramento Científico”, “Alfabetização Científica” e “Enculturação Científica” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 60).

Alguns trabalhos (BERTOLDI, 2020; CUNHA, 2018) apresentam discussões relacionadas à utilização dos termos Alfabetização Científica e Letramento Científico por pesquisadores brasileiros da Didática das Ciências.

Bertoldi (2020) realiza um estudo com o objetivo de discutir se há uma variação de denominação ou uma diferença conceitual entre os termos Alfabetização Científica e Letramento Científico. O autor demonstra que AC e LC possuem diferenças conceituais que se fundamentam nas discussões das áreas de Educação e Ciências Linguísticas acerca das distinções entre os termos “alfabetização” e “letramento”, com base nos estudos de Magda Soares² (SOARES, 2017a; 2017b).

Além disso, menciona que a Alfabetização Científica e o Letramento Científico podem envolver uma variedade de habilidades esperadas do aluno ou desejadas para o futuro cidadão, que se relacionam, respectivamente, ao “reconhecimento e compreensão de sentenças científicas ou capacidade de leitura e escrita de textos sobre Ciência” (para a AC) e ao “pensamento crítico acerca dos impactos da Ciência e da tecnologia na sociedade ou o engajamento político e ambiental” (para o LC) (BERTOLDI, 2020, p. 11); e, de acordo com a imprecisão conceitual dos termos, ressalta que, mesmo em língua inglesa, “*Scientific Literacy*” não apresenta uma concepção única. Esta última afirmação corrobora os estudos de Laugksch (2000) que, ao identificar vários fatores que influenciam diferentes interpretações para “*Scientific Literacy*”, ressalta que diferentes grupos sociais têm adotado a utilização deste termo (Educadores em Ciência, Cientistas Sociais, Sociólogos, Comunicadores da Ciência; Economistas) e, conseqüentemente,

² Bertoldi (2020) e Cunha (2017; 2018) relatam que o termo letramento passou a ser utilizado por especialistas brasileiros da Educação e das Ciências Linguísticas (SOARES, 2017a; 2017b) a partir dos anos de 1980, em virtude das novas demandas sociais de leitura e escrita. O termo surgiu com a finalidade de diferenciar o aprendizado da leitura e da escrita – a alfabetização –, da utilização dessas práticas em um conjunto de atividades sociais – o letramento.

De acordo com Soares (2017a; 2017b), a ação de ensinar ou o ato de aprender a ler e a escrever são práticas relacionadas à alfabetização, enquanto a condição de quem responde às necessidades sociais de uso da leitura e da escrita se associa ao letramento. A autora ressalta, ainda, que dificilmente há, na sociedade, algum indivíduo com grau zero de letramento, uma vez que todos têm contato com a linguagem escrita, seja pela leitura de jornais, seja pela escrita de correspondências, seja pelo noticiário televisivo e, até mesmo, na atividade de retirar dinheiro em um caixa eletrônico. Nesse sentido, entende-se que um indivíduo sem ser alfabetizado pode ter algum nível de letramento.

apresentam distinções conceituais e diferentes propósitos para a Educação Científica, além de variadas estratégias relacionadas à mensuração do nível de “*Scientific Literacy*” das pessoas em Ciências.

Ainda sobre a pesquisa de Bertoldi (2020), o autor apresenta três constatações em relação ao questionamento inicial de sua pesquisa. Primeiro, conclui que há um grupo de estudiosos da Didática das Ciências (CHASSOT, 2003; SASSERON; CARVALHO, 2011) que trata AC e LC como uma variação de denominação e que optam por utilizar a expressão Alfabetização Científica pela influência da concepção freiriana. Segundo, identifica que o estudo de Gomes e Santos (2018, p. 1), fundamentado pela distinção entre “alfabetização” e “letramento” proposta por Magda Soares, considera AC e LC como conceitos distintos, em que a Alfabetização Científica “relaciona-se com a capacidade de compreender, utilizar e refletir sobre um tema, utilizando a linguagem científica, promovendo a participação ativa e adequada nas práticas sociais e profissionais”, e Letramento Científico “se relaciona com a função social e prática social de um indivíduo utilizando o conhecimento científico”.

Por fim, Bertoldi (2020, p. 14) apresenta um terceiro grupo de autores que diferenciam AC de LC por acreditarem que os termos não são sinônimos, negando “a pertinência da relação metafórica entre alfabetização e educação científica”. Esses autores (CUNHA, 2017; DAVEL, 2017; SANTOS, 2007) compartilham de uma concepção mais aberta de Letramento Científico, contemplando o ensino dos conceitos das Ciências com a exploração de textos científicos e defendem que o conhecimento prévio do aluno tem importância no processo de ensino e de aprendizagem, partindo de uma perspectiva que considera “o letramento como um processo de construção de conhecimento baseado na linguagem escrita, que dificilmente parte de um nível nulo”.

Cunha (2018) apresenta um estudo de caráter bibliográfico, em que elenca, por meio de dois grupos, artigos científicos que tratam de Alfabetização Científica (5 artigos) e de Letramento Científico (5 artigos). Em sua pesquisa, o autor busca explorar as similaridades e distinções entre os trabalhos que utilizam esses dois termos (AC e LC), evidenciando que, os estudos em que aparece o termo Alfabetização Científica demonstram agregar um valor maior aos conceitos/conteúdos científicos; enquanto os estudos que adotam o termo Letramento Científico, além de enfatizarem a aprendizagem de conceitos/conteúdos científicos, ressaltam que essa

aprendizagem acaba tendo maior importância ao relacionar os conceitos/conteúdos com aspectos sobre a Natureza da Ciência e com as questões que envolvem Ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Neste momento, vale ressaltar que na presente investigação será utilizado o termo Letramento Científico, pois compartilha-se algumas ideias expressas por Santos (2007). O autor citado considera o Letramento Científico “uma concepção de Educação Científica por meio do uso social” (p. 487), que envolve a capacidade dos cidadãos em tomar decisões e se posicionarem acerca dos benefícios e riscos ligados às questões científicas e diante dos impactos socioambientais originários dos avanços da Ciência e tecnologia. Assim, estabelecendo uma consonância com a definição de Letramento Científico Cívico proposto por Shen (1975) e com as descrições do que se espera de uma pessoa cientificamente letrada, conforme Fourez (1997), Laugksch (2000) e Prewitt (1983), de acordo com Santos (2007):

[...] o letramento dos cidadãos vai desde o letramento no sentido do entendimento de princípios básicos de fenômenos do cotidiano até a capacidade de tomada de decisão em questões relativas a ciência e tecnologia em que estejam diretamente envolvidos, sejam decisões pessoais ou de interesse público (SANTOS, 2007, p. 480).

Nesse sentido, espera-se de um cidadão cientificamente letrado a capacidade de utilizar seus conhecimentos para conversar, discutir, escrever, ler, interpretar, tomar decisões, se posicionar, de forma significativa, diante de uma série de questões da sociedade mobilizando aspectos da Ciência e da tecnologia, dentro e fora do contexto de sala de aula. Ou seja:

[...] uma pessoa funcionalmente letrada em ciência e tecnologia saberia, por exemplo, preparar adequadamente diluições de produtos domissanitários; compreender satisfatoriamente as especificações de uma bula de um medicamento; adotar profilaxia para evitar doenças básicas que afetam a saúde pública; exigir que as mercadorias atendam às exigências legais de comercialização, como especificação de sua data de validade, cuidados técnicos de manuseio, indicação dos componentes ativos; operar produtos eletroeletrônicos etc. Além disso, essa pessoa saberia posicionar-se, por exemplo, em uma assembleia comunitária para encaminhar providências junto aos órgãos públicos sobre problemas que afetam a sua comunidade em termos de ciência e tecnologia (SANTOS, 2007, p. 480).

Para além disso, justifica-se a utilização do termo Letramento Científico nesta pesquisa considerando a literatura que norteia a investigação: em âmbito internacional, os documentos relacionados à Avaliação em Larga Escala PISA

(*Programme for International Student Assessment* – Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) e o documento intitulado “*A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*” (NRC, 2012); e, no contexto brasileiro, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018) e referenciais que tratam de uma Educação Científica relacionada à prática social dos cidadãos.

Em uma perspectiva da influência da Ciência e da tecnologia no modo como os cidadãos vivem, pensam e agem, considerando questões globais e locais, de acordo com a BNCC³, o ensino das Ciências na Educação Básica brasileira tem um compromisso com o desenvolvimento do Letramento Científico, “que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das Ciências” (BRASIL, 2018, p. 321).

A BNCC justifica a importância e a necessidade da Educação Científica brasileira comprometer-se com o Letramento Científico dos cidadãos, uma vez que apenas uma parcela da população consegue utilizar os conhecimentos e procedimentos da Ciência para resolver seus problemas cotidianos, como por exemplo, “estimar o consumo de energia de aparelhos elétricos a partir de suas especificações técnicas, ler e interpretar rótulos de alimentos, etc.” (BRASIL, 2018, p. 547).

Como aponta Santos (2007), essa não mobilização dos conhecimentos científicos para resolver questões do dia a dia é reflexo de um ensino de Ciências descontextualizado abordado na Educação Básica brasileira, pautado, na maioria das vezes, na memorização de fórmulas, nomenclaturas, vocábulos e sistemas de classificação, em que os estudantes até aprendem termos e conceitos científicos, entretanto não são capazes de utilizar o conhecimento nas mais variadas tarefas cotidianas.

³ A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define um conjunto de aprendizagens essenciais que todos os estudantes brasileiros da Educação Básica devem desenvolver ao longo da Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio, de maneira que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE), tal como a define o § 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), e está orientado pelos princípios éticos, políticos e estéticos que visam à formação humana integral e à construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, como fundamentado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN) (BRASIL, 2018, p. 7).

Nesse contexto, a BNCC prioriza um ensino das Ciências que envolve a aprendizagem de conhecimentos conceituais, considerando a contextualização social, cultural, ambiental e histórica desses conhecimentos, e que se fundamente nos processos e práticas de investigação e nas linguagens das Ciências (BRASIL, 2018). Considerando essa perspectiva, Santos (2007) afirma que uma Educação Científica com função social requer mudanças curriculares que considerem propostas metodológicas e de avaliação baseadas em três aspectos: Natureza da Ciência, linguagem científica e aspectos sócio científicos.

Para o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes – PISA –, o conceito de Letramento Científico envolve a ideia de que a compreensão da Ciência e tecnologia é fundamental na formação de um indivíduo para atuar em sociedade (BRASIL, 2019; OCDE, 2016), referindo-se à:

[...] capacidade de se envolver com as questões relacionadas com a ciência e com a ideia da ciência, como cidadão reflexivo. Uma pessoa letrada cientificamente, portanto, está disposta a participar de discussão fundamentada sobre ciência e tecnologia, o que exige as competências para:

- Explicar fenômenos cientificamente: reconhecer, oferecer e avaliar explicações para fenômenos naturais e tecnológicos;
- Avaliar e planejar investigações científicas: descrever e avaliar investigações científicas e propor formas de abordar questões cientificamente;
- Interpretar dados e evidências cientificamente: analisar e avaliar os dados, afirmações e argumentos, tirando conclusões científicas apropriadas (BRASIL, 2019, p. 118; OCDE, 2016, p. 37).

Na sexta edição do PISA, ocorrida no ano de 2015, em que o domínio de Ciências da Natureza apareceu como foco principal do Programa, a definição de Letramento Científico sofreu algumas alterações que representaram uma evolução de ideias em comparação às edições anteriores. O Letramento Científico foi caracterizado por meio de 4 componentes (ou dimensões) inter-relacionadas: competências, conhecimentos, contextos e atitudes (OCDE, 2016).

O PISA estabelece uma perspectiva de avaliação em contextos específicos centrada em competências requeridas para o Letramento Científico, que dependem de conhecimentos e atitudes (ou disposição para a Ciência) (OCDE, 2016).

A dimensão contexto evidencia uma variedade de situações da vida cotidiana relacionadas com o indivíduo, família e grupos de amigos (contexto pessoal), com a comunidade (contexto local/nacional) e com a vida em todo o mundo (contexto global). Além disso, essa dimensão evidencia a utilização bem sucedida das

competências⁴ requeridas para o Letramento Científico, de modo que os indivíduos sejam capazes de explicar fenômenos cientificamente, avaliar e planejar experimentos científicos e interpretar dados e evidências cientificamente (OCDE, 2016; OECD, 2007).

A demonstração das competências dependem: dos conhecimentos dos fatos, conceitos, ideias e teorias sobre o mundo natural estabelecido pela Ciência (conhecimento de conceitos/conteúdos ou conhecimento de Ciências); dos conhecimentos dos procedimentos científicos centrados na capacidade de obter e interpretar dados confiáveis e válidos baseados em evidências (conhecimento procedimental ou conhecimento sobre Ciências); dos conhecimentos que definem características essenciais para o processo de construção do conhecimento científico (conhecimento epistemológico ou sobre Ciências); e também de atitudes dos indivíduos, que se relacionam ao interesse, atenção e respostas frente à Ciência e à tecnologia (OCDE, 2016; OECD, 2007). O PISA 2015 avaliou atitudes consideradas fundamentais para a construção do Letramento Científico, a saber: interesse em Ciência e tecnologia; consciência ambiental; e, valorização da abordagem científica na pesquisa (OCDE, 2016).

No contexto do PISA, pode-se inferir que as questões de Ciências buscam avaliar aspectos do Letramento Científico designados por meio das quatro dimensões apresentadas, ansiando que a Educação Científica nas escolas esteja alinhada com a construção do Letramento Científico, de modo a estabelecer uma formação de jovens que consigam não apenas utilizar os conhecimentos científicos no contexto de sala de aula, mas que sejam capazes de mobilizar os conhecimentos nas mais variadas situações de sua vida real em sociedade.

De acordo com o exposto nos parágrafos anteriores sobre Letramento Científico, fica evidente a importância e a necessidade de uma Educação Científica pautada nas questões relacionadas à Ciência, tecnologia e situações da vida real dos seres humanos, ou seja, um ensino de Ciências que almeja o desenvolvimento de

⁴ Competência pode ser entendida, no contexto das questões de Ciências do PISA, como a capacidade de mobilizar e associar um conjunto de recursos ou esquemas mentais de caráter cognitivo, socioafetivo e psicomotor para solucionar com pertinência e eficácia uma série de situações (PERRENOUD et al., 2002). Assim como nas avaliações internacionais da OECD, a BNCC também aponta para desenvolvimento de competências relacionadas a aprendizagens essenciais ao longo da escolarização básica brasileira, e define competência “como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho” (BRASIL, 2018, p. 8).

atitudes, habilidades e competências para que os cidadãos sejam capazes de tomar decisões, resolver problemas e participar de discussões que exigem a compreensão da Ciência e da tecnologia para a vida em sociedade.

Dando continuidade às reflexões, a próxima seção abarca algumas ideias sobre o conhecimento científico, com ênfase nas Práticas Científicas (NRC, 2012), que norteiam a presente pesquisa atinente à produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos.

1.2 CONHECIMENTOS E PRÁTICAS CIENTÍFICAS

Átomos, moléculas, elétrons e íons, campos e fluxos elétricos e magnéticos, genes e cromossomos constituem o mundo simbólico das Ciências da Natureza. Um mundo organizado por ideias desenvolvidas por meio do esforço intelectual da comunidade científica para interpretar a natureza, incluindo metodologias de medida e experimentos. As entidades e os conceitos da Ciência, bem como a epistemologia e as práticas científicas relacionadas, englobam o conhecimento científico (DRIVER et al., 1999).

O conhecimento científico é simbólico e socialmente negociado, uma vez que constitui entidades e ideias definidas e construídas pela comunidade científica para explicar e interpretar os fenômenos da natureza. Este conhecimento é influenciado por fatores sociais, econômicos, culturais e históricos, além de ser dinâmico, em que suas teorias estão sujeitas a refutações (BRASIL, 2018; DEL PINO; FRISON, 2011; DRIVER et al., 1999).

Nessa perspectiva e conforme Praia, Cachapuz e Gil-Pérez (2002, p. 139), o conhecimento científico “nasce da crítica e reformulação de hipóteses, partindo de situações não explicadas pela teoria”; leva em consideração “as descontinuidades/rupturas entre o tratamento científico dos problemas e o pensamento do senso comum”; “questiona a exigência única de princípios objetivos, lógicos, de rigor e universais” para a sua construção, não sendo definitivo, nem absoluto; evidencia os fatores “filosóficos, culturais, éticos, religiosos, políticos, econômicos e tecnológicos que condicionam ou são constitutivos da atividade de pesquisa”; enquanto conhecimento público, “reconhece que o consenso da comunidade científica tem um papel determinante na aceitação das teorias”; e,

“concebe-o como empreendimento humano e cultural que procura ser mais acessível aos cidadãos ajudando-os a uma maior conscientização nas suas opções e tomadas de decisão”.

De acordo com a estrutura da avaliação em Ciências do PISA (OECD, 2007, p. 22), a expressão “conhecimento científico” está relacionada “ao conhecimento do mundo natural em todos os principais campos da Física, da Química, das Ciências Biológicas, da Ciência da Terra e do Espaço e da Tecnologia baseada na Ciência”, e considera, também, os conhecimentos referentes “aos meios (investigação científica) e aos objetivos (explicações científicas) da Ciência”. Ou seja, o conhecimento científico abarca a compreensão de teorias e conceitos científicos fundamentais e o entendimento da Natureza da Ciência como atividade humana, bem como pontos fortes e limitações desse conhecimento (OECD, 2007).

O PISA estabelece três categorias de conhecimentos científicos do Letramento Científico (BRASIL, 2019), conforme o exposto no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Conhecimentos científicos de acordo com o PISA

Conhecimentos científicos	Definição
De conteúdo	Refere-se ao conhecimento dos fatos, conceitos, ideias e teorias sobre o mundo natural estabelecido pela Ciência.
Procedimental	Refere-se ao conhecimento dos procedimentos-padrão que os cientistas usam para obter dados confiáveis e válidos. Tal conhecimento é necessário tanto para realizar investigação científica e se envolver em revisão crítica da evidência como para apoiar alegações científicas específicas.
Epistemológico	Refere-se à compreensão do papel de construções específicas e características definidoras essenciais ao processo de construção do conhecimento na Ciência. O conhecimento epistemológico possibilita explicar, com exemplos, a distinção entre uma teoria científica e uma hipótese, ou entre um fato científico e uma observação. Relaciona-se com o entendimento de que a construção de modelos, sejam eles diretamente representativos, abstratos ou matemáticos, é uma característica fundamental da Ciência e que tais modelos são semelhantes aos mapas e não imagens precisas do mundo material.

Fonte: Adaptado de Brasil (2019, p. 120)

Como exposto na seção anterior, o Letramento em Ciências envolve o letramento no sentido do entendimento dos princípios básicos dos fenômenos científicos do cotidiano e a capacidade de posicionamento em questões relativas à Ciência e à Tecnologia (BRASIL, 2019; DEL PINO; FRISON, 2011; SANTOS, 2007). Isso demanda conhecimento do conteúdo da Ciência, compreensão de como o conhecimento científico é construído e estabelecido, além do conhecimento dos

procedimentos que embasam métodos e práticas utilizadas para estabelecer o conhecimento científico, ou seja, o Letramento Científico demanda dos cidadãos a mobilização dos conhecimentos de conteúdo, procedimental e epistemológico da Ciência.

Nos parágrafos seguintes serão apresentadas algumas ideias sobre as Práticas Científicas (NRC, 2012), que estão relacionadas a alguns aspectos do Letramento Científico, como processos de investigação, e com os conhecimentos de conteúdo, procedimental e epistemológico da Ciência.

De acordo com o documento norte-americano “*A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*” (NRC, 2012)⁵, as Práticas Científicas (*Scientific Practices*) compõem uma das Dimensões da Aprendizagem Científica e se configuram como as principais práticas empregadas pelos cientistas na investigação e na construção de modelos e teorias sobre o mundo.

O documento NRC (2012), elaborado por um comitê de pesquisadores e professores norte-americanos (*National Research Council – NRC*), apresenta uma estruturação e fundamentação conceitual para um ensino de Ciências que aponta para a construção da proficiência científica e apreciação dos estudantes pela Ciência ao longo dos anos da escolarização básica.

⁵ Enquanto estudante de Mestrado e Doutorado, o autor desta Tese foi membro do grupo de pesquisa Educação em Ciências e Matemática (EDUCIM – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática – Universidade Estadual de Londrina) que, há mais ou menos uma década, realiza investigações voltadas para o contexto educacional brasileiro à luz de algumas ideias presentes nos documentos elaborados pelo *National Research Council* (NRC). As principais investigações se relacionam aos Focos da Aprendizagem Científica (ARRUDA et al., 2013), Focos da Aprendizagem Docente (ARRUDA; PASSOS; FREGOLENTE, 2012) e Focos da Aprendizagem para a Pesquisa (TEIXEIRA; PASSOS; ARRUDA, 2015). E, desde 2015, membros do EDUCIM têm realizado estudos atinentes às Práticas Científicas descritas pelo documento NRC (2012), a saber: Nora (2017) apresenta um estudo que buscou identificar e analisar as Práticas Científicas presentes nas questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos; Costa (2021) apresenta uma revisão bibliográfica de artigos que busca responder as questões de pesquisa: “Quais são as características das publicações envolvendo Práticas Científicas? Quais são as compreensões acerca das Práticas Científicas expressas nas publicações? Em quais contextos os autores realizaram pesquisas envolvendo Práticas Científicas?”; e, nesta Tese, apresenta-se um estudo da análise da produção escrita de estudantes da 3ª Série do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA, com foco na identificação e análise dos conhecimentos e Práticas Científicas evidenciadas nas resoluções dos estudantes.

ARRUDA, Sérgio de Mello; PASSOS, Marinez Meneghelo; FREGOLENTE, Alexandre. Focos da Aprendizagem Docente. *Alexandria – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 5, n. 3, p. 25-48, 2012.

ARRUDA, Sérgio de Mello; PASSOS, Marinez Meneghelo; PIZA, Cristina Aparecida de Melo; FELIX, Rosélis Aparecida Bahls. O aprendizado científico no cotidiano. *Ciência & Educação*, v. 19, n. 2, p. 481-498, 2013.

TEIXEIRA, Lillian Aparecida; PASSOS, Marinez Meneghelo; ARRUDA, Sérgio de Mello. A formação de pesquisadores em um grupo de pesquisa em Educação em Ciências e Matemática. *Ciência & Educação*, v. 21, n. 2, p. 525-541, 2015.

O NRC (2012) amplia discussões iniciadas por outros documentos a respeito do ensino e aprendizagem em Ciências:

Quadro 2 – Documentos norte-americanos relacionados ao ensino e aprendizagem em Ciências

<i>National Science Education Standards</i> (NRC, 1996):
Apresenta como deveria ser o ensino de Ciências a partir do estabelecimento de padrões para os vários níveis da educação.
<i>Taking Science to School: Learning and Teaching in Grades K-8</i> (NRC, 2007):
Aborda sobre a aprendizagem científica em ambientes formais de educação no sentido de orientar o trabalho com estudantes do nível K-8 (equivalente ao 9º Ano do Ensino Fundamental no Brasil) por meio da proficiência em Ciências.
<i>Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits</i> (NRC, 2009):
Relaciona-se à aprendizagem científica em ambientes não formais de educação ao apresentar aquilo que se espera de um ensino de Ciências realizado nesses ambientes, denotando o potencial das configurações extra escolares para a aprendizagem científica.

Fonte: Adaptado de NRC (1996), NRC (2007) e NRC (2009)

Além de estabelecer direcionamentos para o ensino de Ciências, por meio de orientações específicas para o ensino, conteúdos a serem trabalhados em sala de aula, avaliação, desenvolvimento profissional de professores, programas de Ensino de Ciências e sistemas educacionais, o documento NRC (1996) objetivou promover o Letramento Científico, que é definido como “[...] o conhecimento e a compreensão de conceitos e processos científicos necessários para a tomada de decisão pessoal, para a participação em assuntos cívicos e culturais e para a produtividade econômica” (NRC, 1996, p. 22, tradução nossa)⁶. Segundo a definição adotada pelo NRC (1996), a construção do Letramento Científico pode possibilitar ao indivíduo capacidades e habilidades para utilizar seus conhecimentos relacionados aos conceitos e processos da Ciência para realizar perguntas e encontrar soluções advindas de suas experiências cotidianas e, descrever, explicar e prever os fenômenos naturais (NRC, 1996).

Ampliando as ideias a respeito da Educação Científica praticada na Educação Básica norte-americana e sobre uma formação cidadã capaz de utilizar a informação científica para tomar decisões, o NRC (2012) estabelece uma organização para o ensino das Ciências. Nesse sentido, de acordo com o documento “*A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core*

⁶ No texto original: “Scientific literacy is the knowledge and understanding of scientific concepts and processes required for personal decision making, participation in civic and cultural affairs, and economic productivity” (NRC, 1996, p. 22).

*Ideas*⁷:

O objetivo primordial da estruturação para o ensino de ciências do ensino básico é assegurar que até o final do 12º ano todos os alunos apreciem a beleza e a maravilha da ciência; possuam conhecimento suficiente de ciência e engenharia para se engajar em discussões públicas sobre assuntos relacionados; sejam consumidores cuidadosos de informação científica e tecnológica relacionada a suas vidas cotidianas; sejam capazes de continuar a aprender sobre ciência fora da escola; e possuam as habilidades necessárias para ingressar em carreiras de sua escolha, incluindo carreiras em ciência, engenharia e tecnologia (NRC, 2012, p. 1, tradução nossa)⁷.

Em geral, o NRC (2012) apresenta uma estrutura pautada em conhecimentos e práticas das Ciências que os estudantes devem se envolver durante a Educação Básica, referindo-se à importância de promover um ensino de Ciências centrado no aluno e orientado por meio da integração das Dimensões da Aprendizagem Científica, que constituem as Ideias Centrais Disciplinares, os Conceitos Transversais e as Práticas Científicas e de Engenharia⁸.

As Ideias Centrais disciplinares são consideradas partes essenciais das disciplinas de Ciências e consistem em conteúdos e áreas temáticas específicas, compreendidas por: Ciências Físicas; Ciências da Vida; Ciências da Terra e Espaciais; e, Engenharia, Tecnologia e Aplicações das Ciências. Os Conceitos Transversais se relacionam a ideias subjacentes comuns a vários tópicos científicos e que têm aplicação em todos os domínios das Ciências, sendo compreendidos por: Padrões; Causa e efeito: mecanismo e previsão; Escala, proporção e quantidade; Sistemas e modelos de sistema; Energia e matéria; Estrutura e função; e, Estabilidade e mudança. E, como mencionado anteriormente, as Práticas Científicas se configuram como as principais práticas que os cientistas utilizam para investigar e construir modelos e teorias sobre o mundo (NRC, 2012).

Os parágrafos seguintes são dedicados à apresentação das Práticas Científicas (PC) descritas pelo documento NRC (2012), uma vez que elas orientam as análises da pesquisa apresentada nesta Tese.

⁷ No texto original: “The overarching goal of our framework for K-12 science education is to ensure that by the end of 12th grade, all students have some appreciation of the beauty and wonder of science; possess sufficient knowledge of science and engineering to engage in public discussions on related issues; are careful consumers of scientific and technological information related to their everyday lives; are able to continue to learn about science outside school; and have the skills to enter careers of their choice, including (but not limited to) careers in science, engineering, and technology” (NRC, 2012, p. 1).

⁸ Apesar da Dimensão da Aprendizagem Científica “Práticas Científicas e de Engenharia” descrever práticas relacionadas ao trabalho de cientistas e engenheiros, nesta Tese será abordada apenas as práticas atinentes ao ensino e à aprendizagem das Ciências, as Práticas Científicas.

O desenvolvimento de teorias e modelos, a construção de instrumentação apropriada para a investigação, a observação e a testagem de hipóteses, o raciocínio, a realização de inferências e o discurso entre os pares constituem características necessárias para compreender a Ciência como um conjunto de práticas (NRC, 2012).

As Práticas Científicas constituem ações ou recursos utilizados pelos cientistas nas investigações e construção de teorias e modelos sobre os fenômenos (BROIETTI; NORA; COSTA, 2019; NRC, 2012).

No que diz respeito às Práticas Científicas descritas pelo NRC (2012), Costa (2021) afirma que:

[...] as Práticas Científicas são as atividades desenvolvidas pelos cientistas para construir conhecimentos, teorias e modelos acerca do mundo. O engajamento nessas práticas permite aos alunos construir uma visão mais completa da Ciência e do que o cientista realmente faz. Além disso, os alunos não só aprendem sobre a Ciência, mas também possuem a oportunidade de participarem no “fazer” Ciência” (COSTA, 2021, p. 37).

As Práticas Científicas orientam uma aprendizagem para além do conteúdo científico. Elas se relacionam à compreensão e ao envolvimento dos alunos nas práticas e métodos utilizados pelos cientistas (NRC, 2012).

O NRC (2012) utiliza o termo “prática” ao invés de “habilidade” e justifica essa escolha mencionando que o envolvimento em investigações científicas requer conhecimentos que são específicos para cada prática, e não somente habilidades para experimentá-las. Nesse sentido, a aquisição de habilidades provenientes do envolvimento com as Práticas Científicas nas aulas de Ciências relaciona-se a uma melhor compreensão de como o conhecimento científico se desenvolve (NRC, 2012).

O NRC (2012) descreve oito Práticas Científicas (Quadro 3) e ressalta que elas devem ser utilizadas e desenvolvidas de forma interativa e em combinação. As Práticas Científicas são: PC1 – Fazer perguntas; PC2 – Desenvolver e utilizar modelos; PC3 – Planejar e realizar investigações; PC4 – Analisar e interpretar dados; PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional; PC6 – Construir explicações; PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências; PC8 – Obter, avaliar e comunicar informações.

Quadro 3 – Práticas Científicas e algumas descrições

PC1 – Fazer perguntas
Consiste em fazer perguntas sobre um fenômeno e procurar desenvolver teorias que podem fornecer respostas para as questões. Envolve, também, a reformulação e refinamento das perguntas a serem respondidas.
PC2 – Descrever e utilizar modelos
Relaciona-se à construção e à utilização de uma ampla variedade de modelos e simulações para auxiliar no desenvolvimento de explicações sobre os fenômenos naturais.
PC3 – Planejar e realizar investigações
Apoia-se em planejar e conduzir uma sistemática de investigação, que requer a identificação do que está sendo investigado e pode ser tratado por meio variáveis dependentes e independentes.
PC4 – Analisar e interpretar dados
Consiste em analisar os dados advindos de uma investigação científica de forma sistemática. Envolve, também, a testagem dos dados com as hipóteses iniciais e o reconhecimento de conflitos, a fim de transformá-los em informação e/ou conhecimento, por meio de recursos apropriados para, posteriormente, comunicá-los.
PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional
Compreende o uso de abordagens matemática e computacional que permitem realizar previsões do comportamento de sistemas físicos, juntamente com o teste de tais previsões, por meio dos dados inseridos, do reconhecimento, de expressões de aplicações e de relações quantitativas.
PC6 – Construir explicações
Consiste em aplicações da teoria para uma situação específica ou fenômeno. Esta prática compreende a construção lógica de explicações coerentes de fenômenos que incorporam a compreensão atual da Ciência, ou um modelo que os representa.
PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências
Concebe-se que uma boa argumentação científica é fundamentada por evidências, sendo possível examinar seu próprio entendimento e a dos outros. Na Ciência, raciocínio e argumentação são essenciais para identificar os pontos fortes e fracos de uma linha de pensamento e para encontrar a melhor explicação para um fenômeno natural.
PC8 – Obter, avaliar e comunicar informações
Compreende a comunicação de ideias e dos resultados da investigação, que podem ser exteriorizadas, oralmente ou por escrito. Envolve, também, a comunicação do engajamento nas discussões com os pares. A Ciência não pode avançar se os cientistas são incapazes de comunicar claramente suas descobertas e aprender sobre os resultados dos outros cientistas.

Fonte: NRC (2012), Nora (2017) e Costa (2021)

As Práticas Científicas são apresentadas, a seguir, de forma mais detalhada.

Prática Científica 1 (PC1) – Fazer perguntas: De acordo com o NRC (2012), a Ciência se inicia a partir de pergunta(s) sobre algum fenômeno e busca desenvolver teorias que possam fornecer respostas explicativas a esse(s) questionamento(s). Uma prática básica do cientista é fazer perguntas que podem ser respondidas empiricamente e, por meio delas, estabelecer o que já é conhecido para poder determinar quais perguntas ainda precisam ser respondidas satisfatoriamente (NRC, 2012).

As perguntas científicas podem surgir por meio da curiosidade sobre o mundo (Por exemplo: “Por que o céu é azul?”); podem estar relacionadas a algum modelo e/ou teoria, ou podem ser inspiradas a partir da tentativa de aperfeiçoar algum modelo e/ou teoria (Por exemplo: “Como o modelo de partículas da matéria explica a incompressibilidade de líquidos?”); ou ainda, podem resultar da necessidade de fornecer soluções para um determinado problema (Por exemplo: “Qual procedimento é necessário para tratar a água de uma mina ou de um poço que está com microrganismos?”) (NORA, 2017; NRC, 2012).

Para a Educação Científica, uma das capacidades que os alunos devem desenvolver é a de fazer perguntas bem formuladas que podem ser investigadas empiricamente, uma vez que esta prática é um importante componente do Letramento Científico, sendo essencial para o desenvolvimento de hábitos científicos a fim de tornar o indivíduo consumidor crítico do conhecimento das Ciências (NRC, 2012).

Por meio de um ensino de Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC1 – Fazer perguntas, ao final do 12º ano da escolarização básica espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 4 – Capacidades relacionadas à PC1 – Fazer perguntas

- Fazer perguntas sobre o mundo natural e sobre as construções humanas (<i>Por que existem as estações do ano? Como é gerada a energia elétrica?</i>).
- Diferenciar uma pergunta científica (<i>Por que os balões de hélio se elevam mais facilmente?</i>) de uma pergunta não científica (<i>Qual destes balões coloridos é o mais bonito?</i>).
- Formular e refinar perguntas que podem ser respondidas empiricamente durante as aulas de Ciências, e utilizá-las para planejar uma investigação ou construir uma solução.
- Fazer perguntas que buscam identificar as premissas de um argumento e/ou que solicite maior elaboração, e/ou realizar uma pergunta de pesquisa ou sobre algum problema, e/ou questionar a autenticidade de um conjunto de dados (<i>Como você sabe? Que evidência apoia este argumento?</i>).
- Observar características, padrões e contradições nas perguntas já elaboradas, e conseguir questioná-las.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

Nesse contexto, espera-se dos estudantes de qualquer nível de ensino a capacidade de realizarem perguntas sobre os textos que leem, sobre as características dos fenômenos que observam e sobre as conclusões originadas por meio de modelos (pessoais ou científicos) e/ou de investigações científicas. É almejavél, também, que a aprendizagem em Ciências possibilite aos alunos o envolvimento com a prática de fazer perguntas sobre qualquer fenômeno científico,

dentro e fora do contexto de sala de aula (NRC, 2012).

Prática Científica 2 (PC2) – Desenvolver e utilizar modelos: Na Ciência, a construção e a utilização de uma ampla variedade de modelos e simulações são prática comum dos cientistas para o desenvolvimento de explicações sobre os fenômenos. A construção e a utilização de modelos possibilitam ir além do que é observável e imaginar um mundo ainda não visto. Os modelos permitem uma melhor visualização e compreensão de um fenômeno em investigação, sendo utilizados, pelos cientistas, para representar a compreensão atual de um sistema, para comunicar ideias e auxiliar no desenvolvimento de perguntas, explicações e soluções para um determinado problema (NRC, 2012).

Os modelos incluem diagramas, réplicas físicas, representações matemáticas, analogias, simulações computacionais etc., constituindo-se de representações análogas àquilo que está sendo modelado (NRC, 2012).

Para a Educação Científica, a construção e a revisão de modelos mentais pelos estudantes são auxiliadas por meio da compreensão dos modelos e seu papel na Ciência. Modelos mentais mais elaborados propiciam uma compreensão aprofundada da Ciência e um raciocínio científico aprimorado (NRC, 2012).

Por meio de um ensino de Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC2 – Desenvolver e utilizar modelos, ao final do 12º ano da escolarização básica, espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 5 – Capacidades relacionadas à PC2 – Desenvolver e utilizar modelos

- Construir desenhos ou diagramas como representações de eventos ou sistemas (Por exemplo: <i>“desenhar um inseto e identificar suas características”</i> , <i>“representar o que acontece com a água em uma poça à medida que é aquecida pelo sol”</i>) e utilizá-los para explicar ou fazer previsões de como o sistema se comportará em determinadas circunstâncias.
- Representar e explicar fenômenos com variados tipos de modelos e transitar entre os diferentes modelos de acordo com a finalidade para ser mais útil (Por exemplo: <i>“representar moléculas com modelo 3D ou diagrama de ligações”</i> , quando for pertinente utilizar uma, ou outra representação).
- Discutir a limitação e precisão de modelos. Sugerir maneiras para aprimorar e/ou refinar um modelo com base em evidências empíricas ou críticas, a fim de melhorar a sua qualidade e seu poder explicativo.
- Utilizar simulações computacionais como ferramenta para entender e investigar aspectos de um sistema, particularmente aqueles que não são visíveis a “olho nu”.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

Nesse sentido, de acordo com o NRC (2012), o ensino das Ciências na Educação Básica deve envolver os alunos com a prática de desenvolvimento e utilização de modelos para que eles passem a valorizá-la e atinjam um nível de

facilidade na construção e aplicação de modelos apropriados, ao modo que consigam elaborar suas próprias ideias e representações científicas e, conseqüentemente, apresentar suas explicações a outras pessoas.

Prática Científica 3 (PC3) – Planejar e realizar investigações: Uma prática importante dos cientistas é planejar e realizar uma investigação sistemática, que requer a identificação daquilo que deve ser coletado, a maneira como deve ser coletado e o que deve ser tratado como variável dependente e independente (controle de variáveis). A investigação científica pode ser conduzida no campo ou no laboratório, em que as observações e os dados coletados podem ter a finalidade de testar e/ou revisar teorias existentes e/ou e desenvolver novas (NRC, 2012).

Essa Prática Científica refere-se à capacidade de projetar investigações científicas, sejam elas experimentais ou observacionais, que buscam responder um problema de pesquisa ou testar uma hipótese. Nesse sentido, a realização de uma investigação começa a partir da identificação das variáveis relevantes e considera como elas podem ser observadas, medidas e controladas (NRC, 2012).

Por meio de um ensino de Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC3 – Planejar e realizar investigações, ao final do 12º ano da escolarização básica, espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 6 – Capacidades relacionadas à PC3 – Planejar e realizar investigações

- Formular perguntas que possam ser investigadas no ambiente de sala de aula, no laboratório da escola e/ou no campo e, quando necessário, formular uma hipótese (ou seja, uma explicação possível que prevê um resultado particular e estável) com base em um modelo ou teoria.
- Decidir quais dados devem ser coletados, quais ferramentas são necessárias para coletá-los e como as medidas podem ser registradas.
- Decidir a quantidade de dados necessária para produzir medidas confiáveis e considerar quaisquer limitações sobre a precisão dos dados.
- Planejar procedimentos experimentais ou pesquisas de campo, identificando as variáveis dependentes e independentes e, quando for o caso, a necessidade de controlá-las.
- Assegurar o controle das variáveis ao longo da investigação.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

Para o NRC (2012), o Ensino de Ciências deve proporcionar aos alunos oportunidades para planejar e realizar investigações científicas para que possam desenvolver a capacidade de observar, medir e registrar dados utilizando ferramentas e instrumentos apropriados, reconhecendo que o laboratório (de Ciências) não é o único domínio da investigação científica, uma vez que inúmeras

pesquisas podem ser desenvolvidas em campo (como a realizada por biólogos, ecologistas, geólogos, mineralogistas, entre outros).

Prática Científica 4 (PC4) – Analisar e interpretar dados: As investigações científicas produzem dados brutos que geralmente não falam por si mesmos. Nesse sentido, uma das práticas dos cientistas é organizar, analisar e interpretar os dados provenientes de suas investigações para que obtenham significado, permitindo a comunicação dos resultados. A análise pode ser realizada por meio de uma gama de ferramentas, como tabulação, interpretação gráfica, visualização e análise estatística, em que podem ser identificadas características significativas, padrões e fontes de erro (NRC, 2012).

A utilização de tabelas permite evidenciar as principais características presentes em uma grande quantidade de dados, uma vez que, com esta ferramenta, os dados podem ser apresentados de uma forma mais acessível; enquanto os gráficos constituem um meio de apresentar visualmente os dados e a matemática é indispensável para expressar correlações entre as diferentes variáveis no conjunto de dados. Além disso, técnicas estatísticas podem ajudar a reduzir o efeito do erro ao relacionar variáveis (NRC, 2012).

Segundo Costa (2021), a PC4 – Analisar e interpretar dados – está relacionada com a PC3 – Planejar e realizar investigações –, pois dados são produzidos e precisam ser interpretados quando os estudantes têm a oportunidade de se envolverem em investigações científicas.

O NRC (2012) menciona que as ferramentas computacionais permitem que os dados sejam exibidos de formas variadas, contemplando potencial oportunidade para os alunos se envolverem interativamente na análise de conjuntos de dados e na identificação de correlações. A tecnologia da informação permite a captura de dados (envolvendo temperatura, níveis de poluição, entre outras medições científicas) para além da sala de aula, ampliando o leque de experiências dos alunos e possibilitando-os a se envolverem com a prática de analisar e interpretar dados.

Por meio de um ensino de Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC4 – Analisar e interpretar dados, ao final do 12º ano da escolarização básica, espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 7 – Capacidades relacionadas à PC4 – Analisar e interpretar dados

- Analisar dados sistematicamente, a fim de procurar padrões e/ou testar se os dados são consistentes com as hipóteses iniciais.
- Reconhecer quando os dados estão em conflito com as expectativas e considerar que revisões na investigação inicial podem ser necessárias.
- Utilizar planilhas, tabelas, gráficos, cálculos e estatísticas, a informação e a tecnologia computacional para coletar, comparar, resumir e apresentar os dados, e explorar relações entre as variáveis.
- Avaliar a consistência de uma conclusão que pode ser inferida a partir de um conjunto de dados, utilizando técnicas matemáticas e estatísticas apropriadas.
- Reconhecer padrões nos dados que estabelecem alguma relação com a investigação.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

O ensino das Ciências na Educação Básica deve estimular os alunos a se envolverem com a prática de análise e de interpretação de dados permitindo-os explorar diferentes maneiras de apresentação, utilizar matemática e estatística em suas análises e ter contato com ferramentas digitais que apoiam o envolvimento com essa prática (NRC, 2012).

Prática Científica 5 (PC5) – Utilizar matemática e pensamento computacional: Na Ciência, a matemática e ferramentas computacionais constituem instrumentos fundamentais para representar variáveis e suas relações, sendo utilizadas para uma série de tarefas, como a construção de simulações, análise estatística dos dados, reconhecimento das relações quantitativas, representação simbólica das relações entre entidades físicas, previsão de resultados (NRC, 2012).

Por meio de ferramentas matemáticas, ideias podem ser expressas de uma forma precisa e, além disso, permitem a identificação de novas ideias sobre o mundo físico. Por exemplo, a compreensão contemporânea das ondas eletromagnéticas emergiu da análise matemática realizada pelo cientista Maxwell ao estudar o comportamento dos campos elétricos e magnéticos (NRC, 2012).

A matemática e ferramentas computacionais constituem elementos essenciais para a análise de dados. Nesse sentido, habilidades para visualizar dados por meio de diferentes perspectivas e distintas representações gráficas e para testar relações entre variáveis requerem habilidades matemáticas que podem ser aprimoradas e ampliadas com habilidades computacionais (NRC, 2012).

Na Educação Científica, estabelecer familiaridade dos alunos com o papel da matemática nas Ciências é fundamental para desenvolver uma compreensão mais profunda de como a Ciência funciona. Desse modo, por meio de um ensino de

Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional, ao final do 12º ano da escolarização básica, espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 8 – Capacidades relacionadas à PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional

- Reconhecer grandezas dimensionais e utilizar unidades apropriadas em aplicações científicas de fórmulas matemáticas e gráficos.
- Expressar relações e quantidades em formas matemáticas e/ou algorítmicas apropriadas para modelagem e investigações científicas.
- Reconhecer que simulações computacionais são construídas com base em modelos matemáticos que incorporam suposições subjacentes sobre os fenômenos ou sistemas que estão sendo estudados.
- Utilizar expressões matemáticas, programas de computador ou simulações para comparar resultados com o que se conhece sobre o mundo real.
- Possuir e utilizar nível de conhecimento apropriado de matemática e estatística para analisar dados.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

Ao longo dos anos escolares, além constuírem conhecimentos relacionados à aplicação da matemática nas Ciências, os alunos devem ter oportunidades para adquirirem experiência na utilização de ferramentas computacionais, permitindo-os expressar dados em tabelas e gráficos, auxiliando-os na identificação de padrões. Assim, a sala de aula deve ser um espaço onde a matemática e a computação sejam exploradas progressivamente (NRC, 2012).

Prática Científica 6 (PC6) – Construir explicações: Um dos objetivos da Ciência é desenvolver teorias que podem fornecer relatos explicativos de características do mundo. As teorias científicas constituem-se de construções baseadas em corpos significativos de conhecimentos e evidências, e podem ser revisadas com base em novos conhecimentos e/ou evidências, devendo passar por significativas averiguações pela comunidade científica antes de serem amplamente aceitas e aplicadas. Assim, uma teoria é aceita quando demonstra ser superior a outras explicações acerca dos fenômenos (NRC, 2012).

Explicações científicas são aplicações explícitas da teoria a uma situação específica ou a um fenômeno, ou seja, vinculam a teoria científica à observações ou fenômenos. Muitas vezes, a teoria é representada, primeiramente, por meio de um modelo específico para determinada situação e, em seguida, uma explicação baseada no modelo é desenvolvida. Por exemplo, ao entender a teoria de como o oxigênio é obtido, transportado e utilizado no corpo humano, um modelo de sistema circulatório pode ser desenvolvido e utilizado para explicar por que a

frequência cardíaca e a frequência respiratória aumentam com o exercício físico (NRC, 2012).

Um dos objetivos da Educação Científica é que os alunos consigam construir explicações coerentes e lógicas de fenômenos que incorporam sua compreensão atual da Ciência. Partindo da perspectiva de que o conhecimento construído pelos cientistas é possibilitado pelo desenvolvimento de teorias e explicações com a ajuda de modelos, representações e com base em evidências, o NRC (2012) ressalta que os estudantes devem desenvolver, durante a escolarização básica, alguma facilidade na construção de explicações baseadas em modelos e/ou evidências.

Por meio de um ensino de Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC6 – Construir explicações, ao final do 12º ano da escolarização básica, espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 9 – Capacidades relacionadas à PC6 – Construir explicações

- Construir suas próprias explicações de fenômenos utilizando o conhecimento da teoria científica, conectando com modelos e evidências.
- Utilizar evidências científicas e modelos para apoiar ou refutar uma explicação sobre um fenômeno.
- Oferecer explicações causais apropriadas de acordo com o seu nível de conhecimento científico.
- Identificar lacunas e/ou fragilidades nas suas próprias explicações, ou nas de outros.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

Ao demonstrar sua própria compreensão a respeito de uma teoria científica desenvolvendo uma explicação, seja com base nas observações que fizeram ou nos modelos que desenvolveram, os alunos são envolvidos em uma parte essencial do processo pelo qual a mudança conceitual pode ocorrer. Nesse sentido, os alunos precisam de oportunidades para se envolverem na construção de explicações, sendo encorajados a explicar o que observam durante as investigações e a avaliar suas explicações e a de terceiros. E, à medida que o conhecimento se desenvolve, os alunos podem começar a identificar, isolar variáveis e incorporar as observações resultantes em suas explicações, além de progredirem para o uso de matemática ou simulações para construir explicações para os fenômenos (NRC, 2012).

Prática Científica 7 (PC7) – Envolver-se em argumentos a partir de evidências: Na Ciência, os cientistas devem saber defender suas explicações, formular evidências fundamentadas em uma base sólida de dados, examinar a sua

própria compreensão em vista das provas e comentários oferecidos por outros cientistas e colaborar com os pares na busca da melhor explicação para um fenômeno investigado. Eles utilizam o raciocínio e a argumentação para identificar pontos fortes e/ou fracos em novas teorias, explicações de fenômenos, novas soluções para problemas tecnológicos, interpretações de dados antigos etc. A construção do conhecimento científico depende de um processo de raciocínio que exige de um cientista afirmações justificadas sobre o mundo (NRC, 2012).

A argumentação é também necessária para resolver questões envolvendo o melhor planejamento experimental, as técnicas mais apropriadas de análise de dados e/ou a melhor interpretação de um determinado conjunto de dados (NRC, 2012).

Assim como os cientistas, os cidadãos devem ser capazes de fazer julgamentos avaliativos de relatos da mídia relacionados à Ciência e suas implicações para a sociedade. Nesse sentido, tornar-se um consumidor crítico de Ciência é estimulado por oportunidades de utilizar a crítica e a avaliação para julgar os méritos de qualquer argumento com base científica (NRC, 2012).

Por meio de um ensino de Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências, ao final do 12º ano da escolarização básica, espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 10 – Capacidades relacionadas à PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências

- Construir argumentos científicos demonstrando como os dados apoiam a afirmação.
- Identificar possíveis lacunas nos argumentos científicos e discuti-los com base em conhecimentos, raciocínios e evidências.
- Identificar falhas em seus próprios argumentos, modificá-los e aprimorá-los.
- Reconhecer que as principais características dos argumentos científicos são afirmações, dados e raciocínios.
- Explicar a natureza de controvérsias no desenvolvimento de ideias científicas, debatendo acerca de sua criação e justificando o sucesso de determinada teoria.
- Explicar como certas afirmações científicas são julgadas pela comunidade científica, articulando os méritos e as limitações da revisão por pares e a necessidade de replicação independente dessas investigações críticas.
- Ler textos sobre Ciência ou tecnologia, de maneira crítica, a fim de identificar seus pontos fortes e fracos.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

A prática de argumentar cientificamente possibilita aos alunos a construção de seu próprio conhecimento. Desse modo, a Educação Científica deve oferecer oportunidades para os alunos se envolverem com a construção de

argumentos sobre os fenômenos que observam e quaisquer dados que coletam. Além disso, eles devem aprender como avaliar criticamente os argumentos científicos e apresentar contra-argumentos (NRC, 2012).

Prática Científica 8 (PC8) – Obter, avaliar e comunicar informações:

A ciência não pode avançar se os cientistas forem incapazes de comunicar claramente e persuasivamente suas investigações. Dessa maneira, a comunicação de ideias e resultados provenientes das investigações constitui uma das principais práticas da Ciência (NRC, 2012).

A Ciência apresenta-se como uma forma de conhecimento que pode ser representada e comunicada oralmente, por escrito, por meio do uso de diagramas, tabelas, gráficos, imagens, símbolos e ferramentas matemáticas. Portanto, ler e interpretar suas literaturas e produzir textos científicos são práticas fundamentais da Ciência e constitui habilidades do Letramento Científico (NRC, 2012).

Ler e compreender textos científicos requer o conhecimento dos significados de termos técnicos, o entendimento das estruturas de sentenças complexas de modo a extrair informações de forma exata, e a interpretação das diferentes formas de representação, uma vez que a escrita científica é multimodal, ou seja, se comunica por meio de uma mistura de palavras, diagramas, gráficos, símbolos, matemática etc. (NRC, 2012).

Outra prática fundamental da Ciência é a comunicação escrita ou falada, que requer dos cientistas a descrição precisa de suas observações e o esclarecimento e argumentação de suas ideias. A comunicação científica pode ocorrer tanto por meios formais de divulgação, incluindo periódicos revisados por pares, livros, apresentações em conferências/congressos e sites especializados, como por meios informais, como discussões, mensagens de e-mail, telefonemas, blogs (NRC, 2012).

Por meio de um ensino de Ciências pautado nas Práticas Científicas, em relação à PC8 – Obter, avaliar e comunicar informações, ao final do 12º ano da escolarização básica, espera-se que o estudante seja capaz de (NRC, 2012):

Quadro 11 – Capacidades relacionadas à PC8 – Obter, avaliar e comunicar informações

- | |
|--|
| - Utilizar palavras, tabelas, diagramas, gráficos, ferramentas matemáticas para comunicar seu entendimento ou questionamento sobre um sistema em estudo. |
| - Ler textos científicos, incluindo tabelas, diagramas e gráficos de acordo com seu conhecimento científico e explicar as principais ideias comunicadas. |
| - Reconhecer as principais características da escrita e fala científica e ser capaz de produzir textos e se comunicar por meio de apresentações. |

- Realizar uma leitura crítica de textos científicos (adaptados para o uso em sala de aula) ou de relatórios científicos da mídia e ser capaz de discutir a confiabilidade dos dados, hipóteses e conclusões.

Fonte: Adaptado de NRC (2012)

O ensino das Ciências deve possibilitar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de leitura e produção de textos científicos, de modo que consigam interpretar e extrair significados de variadas fontes de comunicação científica, além de produzir textos em que a linguagem escrita e os diagramas, tabelas, gráficos e ferramentas matemáticas sejam utilizados para expressar ideias da Ciência. Para dominar a leitura e a escrita de um material científico, os alunos devem, também, ter a oportunidade de se envolverem em discussões orais sobre suas observações, investigações, interpretações, explicações, resultados e conclusões, se engajando em um discurso apropriado com seus colegas (NRC, 2012).

Após especificar cada uma das Práticas Científicas, vale ressaltar que, de acordo com o NRC (2012), a aprendizagem de Ciências com base nesse conjunto de práticas é uma forma de oportunizar aos alunos refletirem sobre como essas práticas contribuem para a construção do conhecimento científico, ou seja, o envolvimento com as Práticas Científicas os convida e incentiva a refletirem sobre o estado do seu próprio conhecimento e sua compreensão de como a Ciência funciona.

Na sequência, o item 1.3 apresenta algumas considerações sobre a temática produção escrita.

1.3 PRODUÇÃO ESCRITA

Ensinar e aprender Ciências Naturais requer procedimentos e uma linguagem específica da área, que constitui estrutura e características próprias que foram sendo estabelecidas ao longo do desenvolvimento científico como forma de registrar e ampliar o conhecimento construído (VILLANI; NASCIMENTO, 2003; MORTIMER; CHAGAS; ALVARENGA, 1998).

A linguagem científica, seja na forma oral ou escrita, apresenta termos que se relacionam entre si e com o contexto em que são utilizados a fim de produzir significados específicos (OLIVEIRA; BATISTA; QUEIROZ, 2010). As ações descrever, representar, comparar, classificar, analisar, discutir, teorizar, concluir, generalizar,

dentre outras, fazem parte do discurso oral e escrito da Ciência (LEMKE, 1997). A linguagem química, por exemplo, está associada à átomos, moléculas, fórmulas e equações químicas, transformações e mecanismos de reações que podem ser representados e comunicados oralmente, na forma escrita em linguagem natural⁹ e por meio de símbolos, desenhos, modelos, gráficos, diagramas, tabelas, esquemas, imagens, ferramentas matemáticas (WARTHA; REZENDE, 2017; NRC, 2012).

Oliveira, Batista e Queiroz (2010) destacam que o envolvimento com a linguagem da Ciência é essencial para o aprendizado e para a prática científica, ou seja, aprender Ciência significa se apropriar do seu discurso (LEMKE, 1997). Assim, é necessário que nas aulas de Ciências da Natureza sejam oportunizadas estratégias de ensino e de aprendizagem que envolvam a leitura, escrita, resolução de problemas, para que os estudantes possam apropriar-se da linguagem científica.

Oliveira et al. (2009) afirmam que a linguagem científica apresenta particularidades específicas que podem interferir na compreensão de conceitos científicos. Estudos no âmbito da Didática das Ciências apontam para a dificuldade de estudantes no que diz respeito à leitura e interpretação de textos científicos e na comunicação de seus conhecimentos de Ciências que, conseqüentemente, pode estar associada à incompreensão dos conceitos específicos da área.

Ao analisar as respostas de um grupo de estudantes em questões abertas¹⁰ de Química presentes em uma prova de vestibular, Mortimer, Chagas e Alvarenga (1998) constataram que, independentemente do acerto ou não das respostas, não houve um uso generalizado de uma linguagem completamente científica pelos vestibulandos ao responderem as questões e, em específico, os autores evidenciaram dificuldades desses indivíduos com a representação gráfica de fenômenos científicos.

⁹ O termo linguagem natural é citado em referências relacionados às múltiplas representações e é entendido, pela BNCC, como linguagem materna, referindo-se à linguagem que o indivíduo possui e mobiliza ao realizar a produção escrita. Por exemplo, a leitura de algum conteúdo matemático necessita, ao mesmo tempo, que o indivíduo mobilize a linguagem natural (Língua Portuguesa) e a linguagem matemática (BASTOS, 2016). Um segundo exemplo, relacionado à passagem da linguagem natural para a linguagem algébrica, indica que essa conversão ocorre quando o enunciado de determinada atividade matemática é dado em linguagem natural, sendo necessário escrevê-lo em uma expressão na forma algébrica para resolver a atividade (JACOMELLI, 2006).

¹⁰ Questões abertas são também chamadas de discursivas e requerem que o indivíduo mostre os caminhos que foram seguidos para encontrar uma resposta. As questões abertas diferem das questões consideradas fechadas, objetivas ou de múltipla escolha, uma vez que não apresentam, associadas ao seu enunciado, alternativas de resposta (SILVA, 2005).

Em outro estudo que objetivou avaliar a qualidade da escrita científica de alunos de graduação em Química revelou que estes apresentaram algumas dificuldades na comunicação de seus conhecimentos (OLIVEIRA; BATISTA, QUEIROZ, 2010). E, diante de tais constatações, os autores ressaltaram sobre a falta ou pouquíssima oportunidade dos cursos de graduação em desenvolver em seus alunos habilidades relacionadas à comunicação científica, dentre outros fatores, talvez por apresentar professores possivelmente despreparados para realizar esse tipo de orientação (OLIVEIRA; BATISTA, QUEIROZ, 2010). Tal constatação corrobora as ideias propostas por Lacaz-Ruiz (1998), que indica a existência de falhas no ensino da linguagem científica na graduação e na pós-graduação possibilitando, por exemplo, a formação de professores e pesquisadores inaptos para a escrita de artigos científicos, inconscientes de sua própria dificuldade.

Uma pesquisa realizada com professores e pesquisadores portugueses (IPEC, 2005-2008) revelou dificuldades atreladas à linguagem científica no ato de ensinar Ciências, na compreensão do discurso teórico científico e na leitura de textos, ressaltando a importância do papel da linguagem na formação de professores e pesquisadores da área.

Oliveira et al. (2009) e Oliveira, Batista e Queiroz (2009) ressaltam que a exploração didática da linguagem científica é um assunto pouco considerado em estudos da Didática das Ciências, sobretudo aqueles relacionados aos discursos escritos.

Sobre esse tema, estudos recentes (RIBAS; BROIETTI, 2022; 2020) apresentam investigações que, de certa forma, relacionam a produção escrita à mobilização de conhecimentos científicos. Tratam-se de investigações iniciais sobre a produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos. Sobre esse tema de pesquisa, Ribas e Broietti (2022) reiteram sua importância uma vez que podem contribuir para o entendimento das dificuldades/facilidades dos estudantes ao responderem questões que exijam a mobilização da escrita científica.

Como mencionado anteriormente, investigações atinentes à atividade e análise da produção escrita têm sido realizadas há pelo menos duas décadas por pesquisadores da Educação Matemática (ALVES, 2006; CELESTE, 2008; LOPEZ, 2010; PEDROCHI-JUNIOR, 2012; SANTOS, 2014) e, em contrapartida, é um tema de pesquisa que apresenta pouca expressividade na área Ensino de Ciências (RIBAS;

BROIETTI, 2021).

Com o intuito de conhecer investigações relacionadas à temática produção escrita no que tange as pesquisas nacionais em Ensino de Ciências e Matemática, Ribas e Broietti (2021) realizaram um estudo de caráter bibliográfico sobre o tema¹¹.

Por meio da consulta em dois bancos de dados nacionais, o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES¹² (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e o IBICT¹³ (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia), os autores selecionaram 82 produções acadêmicas (Teses e Dissertações) relacionadas à investigações pautadas na análise da produção escrita e/ou investigações em que a produção escrita constituiu um dos instrumentos para a coleta e análise de informações da pesquisa (RIBAS; BROIETTI, 2021).

Com base nos procedimentos da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016)¹⁴, os pesquisadores selecionaram, organizaram, codificaram, analisaram e interpretaram o *corpus* constituído por 17 Teses e 65 Dissertações publicadas em 27 instituições nacionais de Ensino Superior em um intervalo de 15 anos (período de 2005-2019¹⁵).

Essas produções acadêmicas constituem pesquisas desenvolvidas na Educação Infantil, nos níveis Fundamental, Médio e Superior, e em cursos de nível técnico, envolvendo as áreas de Biologia, Ciências, Física, Matemática e Química, com maior contribuição da Matemática, abarcando 70,7% das produções.

Algumas características dessas produções acadêmicas são apresentadas no Quadro 12.

¹¹ O estudo realizado contempla parte das atividades de investigação dos assuntos relacionados à pesquisa desta Tese. Antes de sua publicação, o manuscrito de Ribas e Broietti (2021) foi concebido no Capítulo 2, anteriormente intitulado “Contribuições das Pesquisas em Ensino de Ciências e Matemática atinentes à Produção Escrita”. Por meio das orientações dos membros da banca avaliadora do Exame de Qualificação desta Tese, o conteúdo anteriormente desenvolvido no Capítulo 2 e publicado em Ribas e Broietti (2021) aparece de forma resumida no item 1.3 do capítulo sobre a fundamentação teórica da presente investigação.

¹² Disponível em: <<http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>>. Acesso em: 07 abr. 2021.

¹³ Disponível em: <<http://bdtd.ibict.br/vufind/>>. Acesso em: 07 abr. 2021.

¹⁴ A definição e as etapas do referencial metodológico Análise de Conteúdo serão melhor elucidadas no item 2.2 (Análise de Conteúdo: da organização à análise das informações da pesquisa) do Capítulo 2 (Caminhos da Investigação) desta Tese.

¹⁵ A busca por produções acadêmicas atinentes ao tema de pesquisa foi finalizada em 7 de abril de 2021, não tendo sido encontrado nenhum trabalho acadêmico anterior ao ano de 2005 e posterior ao ano de 2019.

Quadro 12 – Características dos trabalhos acadêmicos que versam sobre produção escrita

Quantidade de trabalhos acadêmicos publicados no período de 2005-2019														
2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
3 D	4 D	4 D	4 D	3 D	5 D 1T	2 D 1 T	4 D 2 T	1 D 2 T	5 D 3 T	6 D 1 T	7 D 2 T	9 D 2 T	5 D 2 T	2 D 1 T
Distribuição percentual de trabalhos acadêmicos por áreas das Ciências da Natureza e Matemática														
Ciências			Biologia			Física			Química			Matemática		
12,2%			3,7%			11%			2,4%			70,7%		
Distribuição de Trabalhos acadêmicos no território brasileiro														
Região Sul			Região Sudeste			Região Centro-Oeste			Região Nordeste			Região Norte		
35 D 11 T			16 D 5 T			9 D 1 T			4 T			1 D		
Instituições de Ensino Superior de origem das pesquisas														
Região Sul			Região Sudeste			Região Centro-Oeste			Região Nordeste			Região Norte		
FURG; PUCRS; UFRGS; UFSC; UEL; UFPR; UNIOESTE, UTFPR.			PUCSP; UFABC; UFSCar; UNESP; UNICAMP; USP; UFES; UFJF; UFLA; UFMG.			IFG; UnB; UFMS; UFMT.			UEPB; UESB; UFRN; UFS.			UFAM.		

D: Dissertação(ões); T: Tese(s).

Fonte: Adaptado de Ribas e Broietti (2021)

Ao analisar os 82 trabalhos acadêmicos, por meio da leitura e interpretação das informações referentes ao(s) “Objetivo(s)”, “Abordagem Metodológica”, “Resultados e Considerações” e aspectos relacionados à “Produção Escrita”, Ribas e Broietti (2021) objetivaram identificar em que contexto de investigação a produção escrita foi empregada e como os autores dessas 17 Teses e 65 Dissertações compreenderam o termo produção escrita.

Mediante a análise realizada, houve a emergência de três categorias que expressam os principais aspectos abordados nas Teses e Dissertações: C1 – Produção escrita como instrumento de aprendizagem; C2 – Produção escrita como instrumento formativo; C3 – Trabalhos acadêmicos de caráter bibliográfico; denotando que a produção escrita se configurou nessas investigações, principalmente, como instrumento de aprendizagem ou como instrumento formativo (RIBAS; BROIETTI, 2021).

Investigações presentes em 52 Dissertações e 11 Teses utilizaram a produção escrita como instrumento de aprendizagem e, nesse contexto, objetivaram conhecer, identificar, verificar, estudar, compreender, e/ou analisar aspectos relacionados ao conhecimento mobilizado pelos participantes das pesquisas ao resolverem atividades de sala de aula, atividades experimentais e questões presentes

em provas e em avaliações educacionais em larga escala. Já 11 Dissertações e 4 Teses utilizaram a produção escrita como instrumento formativo, compreendendo investigações relacionadas à atividade e à aprendizagem docente de licenciandos e professores em serviço ao realizarem ou analisarem produções escritas em atividades consideradas formativas, questões presentes em avaliações educacionais em larga escala e em narrativas experienciais (RIBAS; BROIETTI, 2021).

Mediante às informações dos aspectos relacionados à “Produção Escrita” presentes nos 82 trabalhos acadêmicos, ao investigar o que vem a ser produção escrita para a área Ensino de Ciências e Matemática, Ribas e Broietti (2021, p. 368) verificaram que os autores dessas Teses e Dissertações consideram como produção escrita “as resoluções matemáticas, as respostas escritas ou registros escritos, os desenhos/ilustrações, as colagens e as representações geométricas nas inúmeras atividades realizadas pelos sujeitos investigados”.

Nesse contexto, considerando algumas ideias presentes na BNCC sobre o ensino das Ciências da Natureza (BRASIL, 2018) e de acordo com referenciais relacionados às múltiplas representações¹⁶ (BASTOS, 2016; BICA; ROEHRS, 2015; BONI; LABURÚ; FILHO, 2018; HENRIQUES; PONTE, 2014; KLEIN; LABURÚ, 2012; LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011), Ribas e Broietti (2021) propõem uma definição para o termo produção escrita, que se relaciona à compreensão utilizada nesta Tese. No âmbito das investigações da área Ensino de Ciências e Matemática, produção escrita pode ser entendida:

[...] como toda representação escrita, constituída de textos em linguagem natural, desenhos e imagens, esquemas, gráficos, tabelas, registros algébricos e geométricos, realizada por sujeitos ao explicitarem ideias e entendimentos em diversas situações científicas e/ou matemáticas que exijam a realização de produção escrita (RIBAS; BROIETTI, 2021, p. 371).

Corroborando as ideias presentes na investigação realizada por Ribas e Broietti (2021), ressalta-se que pesquisas atinentes à produção escrita, a serem realizadas na área Ensino de Ciências, podem incentivar a implementação de atividades de escrita científica nas aulas das Ciências da Natureza da Educação Básica a fim de possibilitar contribuições para os processos de ensino e de aprendizagem com vistas ao Letramento Científico.

¹⁶ Múltiplas representações “refere-se à prática de representar um mesmo conceito de várias formas diferentes” (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011, p. 472).

Nesse sentido, reitera-se que atividades de produção escrita possam constituir formas de explorar a linguagem científica dos estudantes, uma vez que a compreensão dessa linguagem contribui para o Letramento Científico, que está relacionado ao envolvimento dos indivíduos em uma cultura científica e que requer: aprendizagem dos conceitos e modelos da Ciência; aquisição da competência linguística por meio da leitura, da escrita e da interpretação da linguagem científica; mobilização do pensamento científico e apreciação da Ciência (OLIVEIRA et al., 2009).

Após apresentar algumas considerações a respeito do referencial teórico que embasa as investigações desta Tese, no próximo capítulo elucida-se o caminho metodológico acerca da pesquisa desenvolvida a partir da produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos específicos de Química.

2 CAMINHOS DA INVESTIGAÇÃO

Neste capítulo são apresentados os caminhos metodológicos da pesquisa, com foco no contexto em que ela se desenvolveu enfatizando, principalmente, os participantes e as características das questões utilizadas como instrumento de coleta e análise da produção escrita; além de algumas considerações acerca da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), a metodologia adotada para organizar e analisar as informações desta investigação.

A pesquisa acadêmica em questão possui um viés predominantemente qualitativo. De acordo com André (2001, p. 57), em pesquisas desta natureza defende-se que o trabalho de investigação seja devidamente planejado, que a coleta de informações fundamente-se em procedimentos rigorosos, que a análise esteja baseada em referenciais teóricos relacionados ao contexto da pesquisa “e que o relatório descreva claramente o processo seguido e os resultados alcançados”, uma vez que a pesquisa qualitativa contempla procedimentos descritivos e a inferência subjetiva do pesquisador.

Segundo Lüdke e André (1986), para realizar uma pesquisa é necessário:

[...] promover o confronto entre os dados, as evidências, as informações coletadas sobre determinado assunto e conhecimento teórico adquirido a respeito dele. Em geral isso se faz a partir do estudo de um problema, que ao mesmo tempo desperta o interesse do pesquisador e limita sua atividade de pesquisa a uma determinada porção do saber, a qual ele se compromete a construir naquele momento (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 2).

Bicudo (2012, p. 20) menciona que “pesquisar é perseguir uma interrogação em diferentes perspectivas”. Nesse sentido, pode-se dizer que uma pesquisa é motivada por um problema de ordem social que propicia os movimentos subsequentes de investigação.

O estudo aqui apresentado tem como questão de pesquisa: Quais conhecimentos científicos e Práticas Científicas são manifestadas na produção escrita de estudantes do Ensino Médio ao responderem questões de Ciências do PISA? E quais suas relações?; uma vez que o estudo objetiva identificar conhecimentos científicos e Práticas Científicas manifestadas na produção escrita de estudantes do Ensino Médio ao responderem questões de Ciências do PISA e suas relações.

Diante do exposto, nos itens subsequentes que compõem este capítulo serão elucidados: (2.1) o contexto em que a pesquisa se desenvolveu, enfatizando os sujeitos que participaram da investigação e o instrumento de coleta das produções escritas dos participantes; e, (2.2) alguns apontamentos acerca da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), metodologia utilizada para organizar e analisar as informações da pesquisa.

2.1 CONTEXTO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida com 101 estudantes da 3ª Série do Ensino Médio de três instituições públicas estaduais de ensino (uma turma de cada instituição), localizadas no Município de Londrina (Estado do Paraná, Brasil).

A escolha pelas turmas, nas respectivas instituições de ensino, se deu por conta da proximidade do pesquisador com os professores regentes dessas instituições, uma vez que estes realizavam atividades na mesma Universidade. Dentre os professores, uma professora (Profa. Curie – Escola B)¹⁷ havia defendido recentemente sua tese de Doutorado no mesmo Programa de Pós-Graduação do pesquisador, um professor (Prof. Dalton – Escola A) era estudante de Doutorado, também pelo mesmo Programa de Pós-Graduação e, um outro professor (Prof. Bohr – Escola C), no momento da coleta de dados, atuava como Supervisor no PIBID de um curso de licenciatura em Química, naquela ocasião Programa coordenado pela orientadora do pesquisador. Sendo assim, após elucidar os objetivos da pesquisa, todos os professores se dispuseram a ceder suas turmas para a coleta de dados e realização desta investigação.

No Quadro 13 são apresentadas algumas características das escolas em que os dados foram coletados, no que diz respeito aos professores regentes, o IDEB das instituições e sua localização na área urbana do Município de Londrina, bem como a quantidade de estudantes em cada turma.

¹⁷ A fim de garantir o mais absoluto sigilo, confidencialidade e preservar a identidade dos professores colaboradores desta pesquisa, estes foram identificados pelo nome de cientistas; codificação escolhida pelos próprios professores: Profa. Curie, Prof. Dalton e Prof. Bohr.

Quadro 13 – Características das instituições de ensino em que os dados foram coletados

Escola	Professor	IDEB ¹⁸ 2019	Localização	Quantidade de alunos participantes
A	Prof. Dalton	4,3	Região central de Londrina	34
B	Profa. Curie	4,8	Região central de Londrina	34
C	Prof. Bohr	-	Região sul de Londrina	33

Fonte: O próprio autor

Aos 101 alunos foi proposto a resolução de 10 questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos.

A coleta das informações para a pesquisa ocorreu no segundo semestre de 2019, especificamente entre os meses de agosto e setembro, com o acompanhamento do pesquisador e dos professores regentes desses alunos durante as aulas de Química. Para a realização da coleta da produção escrita em cada turma os estudantes tiveram 100 minutos para resolver as questões, sendo necessário duas aulas de Química, com 50 minutos de duração em cada uma delas. No primeiro encontro com os estudantes foram disponibilizadas apenas as 5 primeiras questões para a realização da tarefa; enquanto no segundo, os alunos receberam o material contendo as 10 questões de Ciências do PISA, sendo possível responder as questões anteriormente deixadas em branco.

Vale ressaltar que a pesquisa seguiu as normas estipuladas pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos e obteve aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Londrina¹⁹.

Nesta Tese será apresentada a análise da produção escrita em 3 questões de Ciências do PISA, pertencentes às temáticas Milho, Massa de Pão e Conversor Catalítico, respectivamente.

A seguir, serão elucidadas algumas considerações sobre o PISA e, na sequência, são apresentadas as questões utilizadas como instrumento de coleta e análise da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio.

¹⁸ IDEB 2019 – Disponível em: <<http://ideb.inep.gov.br/resultado/home.seam?cid=3411179>>. Acesso em: 19 abr 2022.

O Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) tem o objetivo de avaliar a qualidade do aprendizado nacional e estabelecer metas para a melhoria da educação brasileira. Apresenta como objetivo único alcançar 6,0 pontos até 2022, média que corresponde ao sistema educacional dos países desenvolvidos. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/conheca-o-ideb>>. Acesso em: 19 abr 2022.

¹⁹ Projeto de Pesquisa “O ensino e a aprendizagem de Ciências e Matemática em sala de aula e em ambientes informais”, de número CAAE 57663716.9.0000.5231.

O PISA (em inglês: *Programme for International Student Assessment*; no Brasil: Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) trata-se de uma avaliação internacional em larga escala proposta pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE; em inglês: OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*), e busca avaliar conhecimentos e habilidades consideradas essenciais para a plena participação dos indivíduos em sociedade (BRASIL, 2019; OCDE, 2016).

A prova do PISA avalia estudantes, no final da educação obrigatória, principalmente por meio de três domínios do conhecimento – Leitura, Matemática e Ciências – e, a cada edição do Programa, é enfatizado um deles, contendo no teste um maior número de itens de determinada área do conhecimento (BRASIL, 2019). Na primeira edição do PISA, ocorrida no ano 2000, a ênfase foi voltada para Leitura; na edição seguinte, em 2003, Matemática; em 2006, Ciências; e assim sucessivamente. Devido a pandemia de Covid-19, a prova do PISA, que deveria ser realizada no ano de 2021, foi transferida para o ano de 2022²⁰.

O Programa oferece informações sobre o desempenho dos alunos em relação à aprendizagem e aos principais fatores que moldam a aprendizagem, no contexto escolar e fora dele, possibilitando um comparativo entre os países participantes no que diz respeito a avaliação dos conhecimentos e habilidades dos estudantes e informações para possível implementação de “políticas e programas educacionais visando uma melhoria da qualidade e da equidade dos resultados de aprendizagem” (BRASIL, 2019, p. 13). De acordo com o documento OCDE (2016, p. 18), alguns países têm utilizado os resultados do PISA para tomar decisões sobre a educação, a exemplo o Brasil, por meio do Plano Nacional de Educação (PNE), em que estabelece metas “de melhoria do desempenho dos alunos da Educação Básica nas avaliações da aprendizagem no PISA”, uma vez que este exame é considerado um instrumento externo de referência internacionalmente reconhecido.

No Brasil, o planejamento e operacionalização do PISA ocorre por meio do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), sendo responsável por: representar o país perante a OECD; coordenar a

²⁰ A Escola Estadual Doutor Rodriguez de Melo (Maceió – Alagoas), em que o autor desta Tese tornou-se professor efetivo em abril de 2022, fez parte da amostragem de instituições brasileiras escolhidas para realizar a Prova do PISA, ocorrendo no período de 18 de abril a 31 de maio de 2022, sendo desenvolvida no Laboratório de Informática da Escola por uma equipe da Secretaria de Educação do Estado de Alagoas.

tradução dos instrumentos de avaliação; coordenar a aplicação desses instrumentos nas escolas amostradas; coordenar a coleta das respostas dos participantes; coordenar a codificação das respostas; analisar os resultados; e, elaborar o relatório nacional (BRASIL, 2019).

Participam do PISA, jovens de 15 anos e 3 meses a 16 anos e 2 meses, que tenham completado pelo menos 6 anos de escolaridade formal e que estejam matriculados em instituições de ensino dos países membros da OECD e países/economias parceiras desta organização. Na 7ª edição dessa avaliação internacional, realizada no ano de 2018, participaram 79 países, compreendendo 37 países membros da OECD e 42 países/economias parceiras (BRASIL, 2019). O Brasil participou, até o ano de 2022, de todas as edições do PISA.

Quadro 14 – Algumas informações sobre o PISA

Ocorrência e ênfase da área do conhecimento							
2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018	2022*
Leitura	Matemática	Ciências	Leitura	Matemática	Ciências	Leitura	Matemática
Estudantes							
Jovens de 15 anos e 3 meses a 16 anos e 2 meses matriculados em instituições de ensino da Educação Básica dos países/economias participantes.							
Países/Economias em 2018							
<p>Membros da OECD: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Colômbia, Coreia, Dinamarca, Eslováquia (República Eslovaca), Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Suécia, Suíça, Turquia.</p> <p>Parceiros da OECD: Albânia, Arábia Saudita, Argentina, Azerbaijão (somente a capital Baku), Bielorrússia, Bósnia-Herzegovina, Brasil, Brunei Darussalam, Bulgária, Catar, Cazaquistão, BSJZ – Beijing, Shanghai, Jiangsu e Zhejiang (China) –, Costa Rica, Croácia, Emirados Árabes Unidos, Escócia, Filipinas, Geórgia, Hong Kong (China), Indonésia, Jordânia, Kosovo, Líbano, Macau (China), (República da) Macedônia do Norte, Malásia, Malta, Marrocos, (República da) Moldávia, Montenegro, Panamá, Peru, República Dominicana, Romênia, Rússia (Federação Russa), Sérvia, Singapura, Tailândia, Taipé Chinesa, Ucrânia, Uruguai, Vietnã.</p>							

*Devido a pandemia de Covid-19, a prova do PISA que deveria ser realizada no ano de 2021 foi transferida para o ano de 2022.

Fonte: Adaptado de Brasil (2019)

Em uma perspectiva que considera a compreensão da Ciência e da tecnologia fundamental na formação dos jovens e pelo fato das economias modernas valorizarem o que os indivíduos podem fazer com o que sabem, as questões do PISA se relacionam não apenas àquilo que os alunos podem reproduzir de conhecimento, mas também com aquilo que eles podem extrapolar sobre o que tem aprendido e utilizar seus conhecimentos em diversas situações consideradas não familiares, seja

no âmbito escolar ou fora dele (BRASIL, 2019; OCDE, 2016).

Nesse contexto, as questões de Ciências do PISA possuem relação direta com o Letramento Científico que, para o Programa, pode ser resumido na pergunta “O que é importante que os jovens saibam, valorizem e sejam capazes de realizar em situações que envolvem Ciência e Tecnologia?”, e é caracterizado por meio de quatro componentes (ou dimensões) inter-relacionadas: competências, conhecimentos, contextos e atitudes (OCDE, 2016). Nessa perspectiva, as questões de Ciências presentes na prova do PISA buscam relação com situações da vida real dos cidadãos e apontam para importância do Letramento Científico (RIBAS; BROIETTI, 2020).

A seguir, são apresentadas algumas características das questões utilizadas como instrumento de coleta e análise da produção escrita dos 101 estudantes da 3ª Série do Ensino Médio.

A primeira questão utilizada para analisar a produção escrita dos estudantes foi a da temática Milho (Quadro 15). A questão é precedida de um texto que apresenta informações experimentais acerca da combustão do milho e sua relação com o Efeito Estufa, ressaltando a potencial utilização deste grão como fonte de combustível no futuro. Além disso, apresenta uma tabela com dados relacionados ao Efeito Estufa relativo causado por quatro gases. A questão é de múltipla escolha e solicita que o estudante indique os dados adicionais necessários para determinar qual dos gases é o principal responsável pelo aumento do Efeito Estufa.

Quadro 15 – Questão de tema Milho

<p>MILHO</p> <p><i>Analise a seguinte reportagem extraída de um jornal.</i></p> <p>HOLANDÊS UTILIZA MILHO COMO COMBUSTÍVEL</p> <p>Um pouco de lenha queima lentamente no fogão de Auke Ferwerda. De uma sacola de papel próxima ao fogão, ele retira um punhado de milho e o joga sobre as chamas. Imediatamente, labaredas de fogo se levantam brilhantes. “Observe.”, diz Ferwerda, “O visor do fogão fica limpo e transparente. A combustão é completa.” Ferwerda fala sobre o fato de que o milho poder ser utilizado como combustível, assim como alimento para gado. Segundo ele, este é o futuro.</p> <p>Ferwerda explica que o milho na forma de alimento para gado também é, na verdade, um tipo de combustível. As vacas comem milho para obter energia. Mas, Ferwerda explica que a venda do milho como combustível, em vez de alimento para o gado, poderia ser muito mais lucrativa para os fazendeiros.</p> <p>Ferwerda está convencido de que, a longo prazo, o milho será amplamente utilizado como combustível. Ele imagina como será a colheita, a armazenagem, a secagem e o acondicionamento dos grãos em sacos para a venda.</p> <p>Atualmente, Ferwerda está pesquisando a possibilidade de utilização de toda a planta do</p>
--

milho como combustível, mas esta pesquisa ainda não está concluída.

O que Ferwerda também precisa levar em consideração é a atenção que está sendo dispensada ao gás carbônico. O gás carbônico é considerado a causa principal do aumento do efeito estufa. Afirma-se que o aumento do efeito estufa é a causa do aumento da temperatura média da atmosfera da terra.

Segundo Ferwerda, entretanto, não há nada errado com o gás carbônico, pelo contrário. Ele argumenta que as plantas o absorvem e o convertem em oxigênio para os seres humanos.

Entretanto, os planos de Ferwerda podem entrar em conflito com os do governo que atualmente está tentando reduzir a emissão de gás carbônico. Ferwerda diz: “Há muitos cientistas que dizem que o gás carbônico não é a causa principal do efeito estufa.”

Questão: MILHO

No final da reportagem, Ferwerda refere-se aos cientistas que dizem que o gás carbônico não é a causa principal do efeito estufa. Karina encontra a tabela a seguir que mostra o efeito estufa relativo, causado por quatro gases:

Efeito estufa relativo por molécula de gás			
Gás carbônico	Metano	Óxido nitroso	Clorofluorcarboneto
1	30	160	17000

A partir desta tabela, Karina não pode determinar qual gás é a causa principal do aumento do efeito estufa. É necessário combinar os dados da tabela com outros dados para que Karina possa determinar qual dos gases é a causa principal do aumento do efeito estufa. Que outros dados Karina precisa coletar?

- A. Dados sobre a origem dos quatro gases.
- B. Dados sobre a absorção dos quatro gases pelas plantas.
- C. Dados sobre o tamanho dos quatro tipos de moléculas.
- D. Dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera.

*Explique sua resposta:

*Para melhor interpretação da produção escrita dos estudantes na questão, foi solicitado que eles explicassem a resposta assinalada.

Fonte: Adaptado do documento “Itens Liberados de Ciências” (INEP, 2012, Questão 7, p. 44)

Como resposta esperada, o PISA estabelece: “D. Dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera” (INEP, 2012, p. 44, grifo nosso).

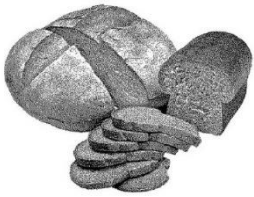
De acordo com os estudos de Broietti et al. (2014) e com base nos referenciais do PISA, a questão exige a competência “Interpretar dados e evidências cientificamente”, uma vez que sua resolução está relacionada à análise, interpretação e avaliação de dados, afirmações e argumentos em uma variedade de representações, a fim de realizar conclusões científicas apropriadas (BRASIL, 2019).

Assim, ao responder essa questão, espera-se que o estudante defenda a alternativa julgada correta com base em evidências que correspondem aos dados do “Efeito Estufa relativo por molécula de gás” compreendendo que a informação sobre a quantidade de cada uma das moléculas de gás na atmosfera é necessária, a fim de identificar qual dos gases é o responsável pelo aumento do Efeito

Estufa.

A seguir, são apresentadas algumas características da segunda questão utilizada como instrumento de coleta da produção escrita dos estudantes, de tema Massa de Pão.

Quadro 16 – Questão de tema Massa de Pão

MASSA DE PÃO	
	<p>Para fazer massa de pão, um cozinheiro mistura farinha, água, sal e fermento biológico. Após misturar a massa, ela é colocada em um recipiente por várias horas, a fim de permitir que o processo de fermentação ocorra. A fermentação é uma reação química na mistura: o fermento (um fungo unicelular) transforma o amido e os açúcares da farinha em dióxido de carbono e álcool.</p>
Questão: MASSA DE PÃO	
<p>Quando o pão fermentado é colocado no forno para assar, bolsas de gás e vapor se expandem na massa. Por que o gás e os vapores se expandem quando aquecidos?</p>	
<p>A. Suas moléculas ficam maiores. B. Suas moléculas se movimentam mais rapidamente. C. O número de moléculas aumenta. D. Suas moléculas colidem com menor frequência.</p>	
<p>*Explique sua resposta:</p>	

*Para melhor interpretação da produção escrita dos estudantes na questão, foi solicitado que eles explicassem a resposta assinalada.

Fonte: Adaptado do documento "Itens Liberados de Ciências" (INEP, 2012, Questão 4, p. 88)

A questão de tema Massa de Pão é precedida de um texto que denota o processo de fabricação do pão. Trata-se de uma questão de múltipla escolha e, por isso, foi solicitado que os estudantes explicassem a resposta assinalada.

A questão acrescenta a informação sobre o que ocorre com a massa de pão quando é colocada no forno para assar e solicita que o estudante escolha uma alternativa que contemple a explicação da expansão de gases e vapores quando aquecidos. Assim, de acordo com o PISA, a resposta esperada é: "B. Suas moléculas se movimentam mais rapidamente" (INEP, 2012, p. 88, grifo nosso).

De acordo com o PISA 2006 (OECD, 2007), a questão exige a competência "Explicar fenômenos cientificamente", que se relaciona ao reconhecimento, oferecimento e avaliação de explicações para uma gama de fenômenos naturais e tecnológicos, demonstrando a capacidade de recordar e aplicar conhecimentos científicos apropriados (BRASIL, 2019).

Nesse sentido, ao responder a questão e construir uma explicação para sua resposta, espera-se que o estudante reconheça e mobilize a teoria correspondente ao Modelo Cinético dos Gases: "Quando um gás se aquece, as moléculas se movem mais rapidamente e se chocam com mais frequência com as paredes do recipiente que as contém" (ATKINS; JONES, 2006, p. 253).

Na continuidade, são apresentadas algumas características da questão de tema Conversor Catalítico.

Quadro 17 – Questão de tema Conversor Catalítico

CONVERSOR CATALÍTICO

A maioria dos veículos modernos vem equipada com um conversor catalítico que torna os gases emitidos pelo escapamento menos prejudiciais às pessoas e ao meio ambiente. Cerca de 90% dos gases prejudiciais são convertidos em gases menos nocivos. A seguir, apresenta-se alguns dos gases que entram no conversor e a maneira como eles saem.

Conversor catalítico

Questão: CONVERSOR CATALÍTICO

Utilize as informações da ilustração acima para dar um exemplo de como o conversor catalítico reduz o efeito prejudicial dos gases do escapamento.

*Explique sua resposta:

*Apesar de se tratar de uma questão aberta, para melhor interpretação da produção escrita dos estudantes, foi solicitado que eles explicassem suas respostas.

Fonte: Adaptado do documento "Itens Liberados de Ciências" (INEP, 2012, Questão 1, p. 96)

A questão de tema Conversor Catalítico é precedida de um texto e de um modelo representativo de conversor catalítico que apresentam informações gerais acerca do funcionamento deste equipamento em veículos automotores. Diferentemente das questões anteriores, esta demanda resposta de construção

aberta.

De acordo com os referenciais do PISA, a questão exige a competência “Interpretar dados e evidências cientificamente” que, para esta questão em específico, se relaciona à capacidade de análise, interpretação e avaliação de dados, suposições e argumentos em representações variadas, além da apresentação de conclusões científicas apropriadas ao contexto (BRASIL, 2019).

Nesse sentido, ao responder a questão a fim de apresentar um exemplo de como o conversor catalítico reduz o efeito prejudicial dos gases, o estudante deve perceber que as informações fornecidas no modelo que representa um conversor catalítico indicam que apenas o monóxido de carbono (CO) e os óxidos de nitrogênio (NO, NO₂) têm suas quantidades reduzidas no interior do equipamento, podendo deduzir que um ou o outro, ou os dois, devem ser gases prejudiciais, conforme as respostas esperadas expressas no Caderno de itens liberados de Ciências do PISA, apresentadas no Quadro 18, a seguir:

Quadro 18 – Respostas esperadas para a questão de tema Conversor Catalítico

Crédito Completo

– Respostas que mencionam a conversão de monóxido de carbono, ou óxidos de nitrogênio, em outros compostos, como:

- O monóxido de carbono é transformado em dióxido de carbono.
- Os óxidos de nitrogênio são transformados em nitrogênio.
- O monóxido de carbono e os óxidos de nitrogênio prejudiciais são transformados em dióxido de carbono e nitrogênio menos prejudiciais.
- Modifica fumaça prejudicial para fumaça não prejudicial, por exemplo: CO em CO₂ (90%)*.
- Dióxido de carbono e nitrogênio não são tão prejudiciais quanto monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio*.

Nenhum Crédito

– Outras respostas.

- Os gases se tornam menos nocivos.
- Purifica o monóxido de carbono e os óxidos de nitrogênio – (Não é suficientemente específica)*.

– Não respondeu.

Fonte: Adaptado do Caderno de Itens Liberados de Ciências do PISA (Conversor Catalítico – Correção 1, p. 96-97); *Adaptado de OECD (2007, p. 171)

Considerando o objetivo da pesquisa em identificar conhecimentos científicos e Práticas Científicas manifestadas na produção escrita de estudantes do Ensino Médio ao responderem questões de Ciências do PISA e suas relações, na sequência são apresentadas as Práticas Científicas associadas às questões de tema

Milho, Massa de Pão e Conversor Catalítico, resultado dos estudos de Nora (2017).

O pesquisador identificou, por meio da análise do suporte e do enunciado das questões, as Práticas Científicas (NRC, 2012) relacionadas a elas. Em um artigo originado da investigação de Nora (2017), os pesquisadores descreveram o potencial de certas questões do PISA que abordam conceitos químicos em engajar os estudantes nas Práticas Científicas (BROIETTI; NORA; COSTA, 2019), ou seja, ao responder estas questões, possivelmente os estudantes estariam se envolvendo em algumas Práticas Científicas.

O Quadro 19 apresenta as Práticas Científicas identificadas por Nora (2017) ao analisar as questões.

Quadro 19 – Práticas Científicas identificadas por Nora (2017) ao analisar o enunciado das questões

Práticas Científicas	Questões		
	Milho	Massa de Pão	Conversor Catalítico
PC1 – Fazer perguntas			
PC2 – Desenvolver e utilizar modelos			X
PC3 – Planejar e realizar investigações	X		
PC4 – Analisar e interpretar dados	X		X
PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional	X		
PC6 – Construir explicações		X	
PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências			
PC8 – Obter, avaliar e comunicar a informação			

Fonte: Adaptado de Nora (2017)

Para a questão de tema Milho, Nora (2017) identificou a PC3, a PC4 e a PC5. O autor destaca que para a resolução é necessária a utilização da **PC3 – Planejar e realizar investigações**, uma vez que é preciso conhecer os procedimentos científicos necessários para investigar o problema da questão. Outra prática necessária é a **PC4 – Analisar e interpretar dados**, visto que é preciso analisar atentamente os dados presentes na questão para que se consiga trabalhar com as variáveis essenciais para a utilização de novos dados que complementam a pesquisa. Por fim, pode-se inferir que nesta resolução também esteja relacionada a **PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional**, uma vez que, para analisar os dados, é preciso utilizar o raciocínio matemático necessário para perceber a relação dos dados presentes na tabela da questão, que correspondem aos valores

relativos de cada gás envolvido, com os dados solicitados para respondê-la corretamente.

Ao solicitar a explicação para a resposta da questão de tema Milho, infere-se que o estudante se envolva, também, com a **PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências**, corroborando a competência relacionada à questão (Interpretar Dados e Evidências Cientificamente), pois além de analisar, interpretar e avaliar dados, o estudante precisa mobilizar conclusões científicas apropriadas ao resolver a questão.

Para a resolução da questão de tema Massa de Pão, Nora (2017) infere que é necessário que o estudante mobilize a **PC6 – Construir explicações**, pois além de utilizar informações empíricas, é preciso que ele mobilize a teoria correspondente, neste caso, a Teoria Cinética dos Gases.

Por fim, a questão tema Conversor Catalítico requer a mobilização da **PC2 – Desenvolver e utilizar modelos**, uma vez que a ilustração apresentada como suporte da questão (modelo de um conversor catalítico) deve ser utilizada para a compreensão sobre o funcionamento de um conversor catalítico. Além disso, visto que há dados disponibilizados no modelo ilustrativo de um conversor catalítico, é necessário que o estudante identifique o padrão estabelecido entre os gases, na entrada e na saída do equipamento, para responder a questão, mobilizando assim a **PC4 – Analisar e interpretar dados**.

Neste estudo, busca-se identificar, além dos conhecimentos mobilizados pelos estudantes ao resolver as questões, as Práticas Científicas manifestadas nas produções escritas.

Na sequência, são apresentados alguns apontamentos acerca da metodologia utilizada para organizar e analisar as informações da pesquisa.

2.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO: DA ORGANIZAÇÃO À ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DA PESQUISA

Como mencionado anteriormente, para investigar a produção escrita de alunos do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos foi utilizada uma abordagem predominantemente qualitativa. Nesta seção são apresentados alguns apontamentos acerca da metodologia utilizada no processo de organização e análise das informações da pesquisa, a Análise de Conteúdo

(BARDIN, 2016).

A Análise de Conteúdo pertence a um conjunto de técnicas de análises textuais utilizadas para selecionar, organizar, codificar, analisar e interpretar o *corpus*²¹ de uma pesquisa; designando-se como:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens (BARDIN, 2016, p. 48).

A Análise de Conteúdo se organiza em torno de três etapas: (I) pré-análise, (II) exploração do material, e (III) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

O movimento de seleção, organização e codificação dos materiais a serem analisados com base nas hipóteses e objetivos da investigação constituem a etapa de pré-análise. Trata-se de uma fase de organização dos materiais e tem o objetivo de sistematizar as ideias iniciais num plano de análise, em que ocorre: a escolha dos documentos a serem submetidos aos procedimentos analíticos, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. Fatores que se mantêm estreitamente ligados uns aos outros, não obedecendo a uma ordem cronológica (BARDIN, 2016).

Nesta etapa ocorre, também, uma atividade denominada por Bardin (2016, p. 126) como leitura “flutuante”, “que consiste em estabelecer contato com os documentos a analisar e em conhecer o texto deixando-se invadir por impressões e orientações”, de modo que a leitura passe a se tornar mais precisa de acordo com as hipóteses emergentes e com os objetivos de análise, com as teorias adaptadas sobre o material e com a aplicação de técnicas utilizadas em outros materiais semelhantes. Por meio da leitura “flutuante” o pesquisador começa a determinar operações de recorte do texto em unidades possíveis de serem reunidas em razão de características comuns.

Nesta pesquisa, a partir de um conjunto de 59 questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos, extraídas de dois manuais de itens divulgados no portal do INEP – órgão federal vinculado ao Ministério da Educação

²¹ O *corpus* é o conjunto de documentos a serem submetidos aos processos de análise (BARDIN, 2016).

(MEC) no Brasil –, e disponíveis na dissertação de Mestrado de Nora (2017), 10 questões foram selecionadas e propostas a 101 alunos da 3ª Série do Ensino Médio de três instituições públicas de ensino, localizadas no Município de Londrina – Paraná. Os materiais analisados consistiram nas produções escritas realizadas pelos estudantes ao resolverem 3 questões, pertencentes às temáticas Milho (Apêndice A), Massa de Pão (Apêndice B) e Conversor Catalítico (Apêndice C), respectivamente.

Após a coleta de informações, as produções escritas referentes a resolução de cada questão foram transcritas em uma planilha do *excel*, organizadas e codificadas para posterior análise. A codificação das produções escritas seguiu uma ordem numérica que variou de 1 a 101, precedida da letra “E” (estudante). E₃₈, por exemplo, corresponde à produção escrita do estudante de número 38.

Na segunda etapa da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), denominada exploração do material, ocorre a análise das comunicações a partir de teorias definidas antes de examinar o *corpus* da pesquisa (teorias *a priori*) e/ou por meio do surgimento de novos elementos teóricos ao longo da análise (teorias emergentes ou *a posteriori*), podendo variar de acordo com os objetivos da investigação e informações obtidas.

Este movimento de análise pode acontecer ou não por meio do estabelecimento de categorias (processo chamado de categorização), em que os dados brutos são transformados e reunidos conforme elementos semelhantes (recortes do texto: unidades de registro) com a finalidade de produzir descrições, interpretações e inferências que permitem atingir uma representação do conteúdo investigado. A categorização consiste no agrupamento de elementos semelhantes classificados de acordo com determinados critérios a fim de destacar os aspectos mais importantes do conteúdo.

No contexto desta pesquisa, a análise das produções escritas (correspondentes às unidades de registro) possibilitou o estabelecimento de categorias emergentes, que foram elaboradas por meio da leitura recorrente do *corpus*, expressando os conhecimentos científicos manifestados pelos estudantes na resolução das questões e as Práticas Científicas, descritas pelo documento NRC (2012). Cabe ressaltar que o agrupamento das unidades de registro nas categorias seguiu a condição da exclusão mútua, ou seja, cada elemento passível de classificação apresentou aspecto suscetível de ser agrupado em apenas uma categoria.

A última etapa que compreende o conjunto de técnicas da Análise de Conteúdo consiste no tratamento dos resultados brutos por meio da interpretação das unidades de registro agrupadas ou não em categorias, possibilitando a descrição e a inferência desses resultados, pautados nos objetivos da investigação, na análise crítica e segundo a intuição do(s) analista(s) (BARDIN, 2016).

Os resultados desta investigação, apresentados no próximo capítulo, correspondem à descrição, inferência e interpretação da produção escrita de estudantes do Ensino Médio em 3 questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos.

3 A PRODUÇÃO ESCRITA DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO EM QUESTÕES DE CIÊNCIAS DO PISA: CONHECIMENTOS E PRÁTICAS CIENTÍFICAS

Este capítulo apresenta os aspectos relacionados ao objetivo central desta pesquisa de Doutorado, que consiste em analisar a produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos.

Nos próximos parágrafos serão elucidadas as descrições, inferências e interpretações provenientes da análise da produção escrita dos 101 estudantes da 3ª Série do Ensino Médio em 3 questões de Ciências do PISA, de temas Milho, Massa de Pão e Conversor Catalítico.

Como visto anteriormente, para melhor interpretação da produção escrita dos estudantes, foi solicitado que eles explicassem suas respostas nas questões consideradas fechadas ou de múltipla escolha (questões que apresentam alternativas de resposta associadas ao seu enunciado). Assim, o primeiro movimento de investigação para essas questões consistiu em identificar a resposta assinalada pelos estudantes, julgada correta ou errada de acordo com os referenciais do PISA.

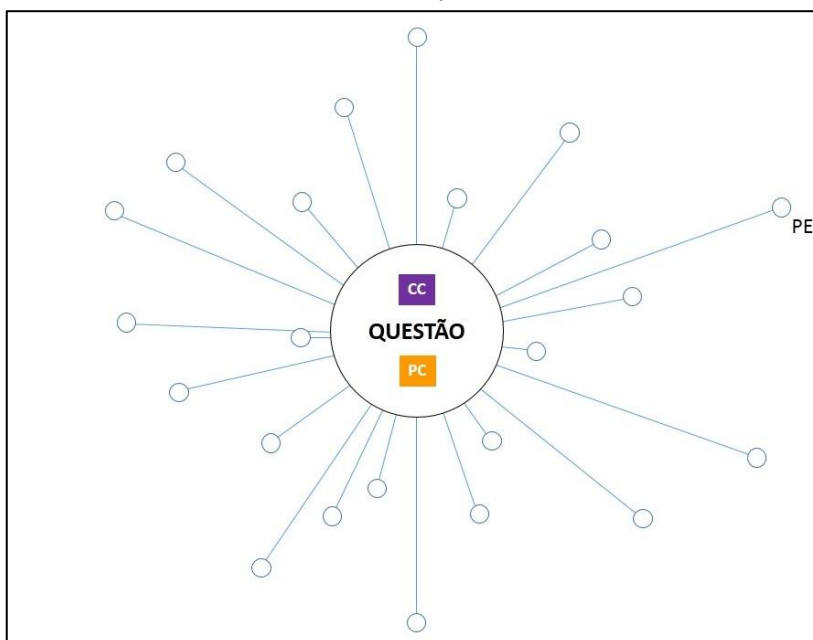
Na sequência, as produções escritas foram analisadas uma a uma e agrupadas em categorias emergentes, que expressam as relações entre os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas evidenciadas nas resoluções das questões.

Diante da análise realizada, foi possível observar respostas/explicações que se aproximaram ou se distanciaram dos objetivos da questão no que se refere aos conhecimentos científicos e às Práticas Científicas associadas à resolução, conforme o apresentado na Figura 1, que representa a interpretação da produção escrita dos alunos nas questões de Ciências do PISA.

A representação da Figura 1 possui uma esfera central que corresponde à determinada questão de Ciências do PISA, que apresenta um objetivo para a sua resolução contemplando conhecimentos científicos (CC) e Práticas Científicas (PC).

Ao analisar as produções escritas dos estudantes, verificou-se a emergência de respostas/explicações que se aproximaram ou se distanciaram dos conhecimentos científicos e das Práticas Científicas associadas à questão, sendo representadas pelas esferas menores interligadas pelo traço na esfera central.

Figura 1 – Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA



CC: Conhecimento científico; PC: Práticas Científicas; PE: produção escrita.

Fonte: O próprio autor

Assim, de acordo com esse critério de análise, as produções escritas dos estudantes para cada questão foram agrupadas conforme unidades de registro semelhantes e alocadas em categorias, considerando o tipo de questão (aberta ou fechada), conforme explicitado no Quadro 20, a seguir:

Quadro 20 – Categorias emergentes da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA

<i>Para as questões fechadas</i>		<i>Para as questões abertas</i>	
Categoria	Descrição	Categoria	Descrição
C1	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta e que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão.	C1	Produções escritas que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão.
C2	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	C2	Produções escritas que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.
C3	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa incorreta e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.		
C4	Produções escritas insuficientes para interpretação, consideradas sem sentido ou confusas e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	C3	Produções escritas insuficientes para interpretação, consideradas sem sentido ou confusas e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.

Fonte: O próprio autor

3.1 ANÁLISE DA PRODUÇÃO ESCRITA: QUESTÃO DE TEMA MILHO

Para a questão da temática Milho, dentre os 101 estudantes investigados, 7 não responderam (E₂₅, E₂₆, E₂₇, E₃₁, E₇₀, E₉₇, E₁₀₁) e um (E₇₇) assinalou duas alternativas de resposta (B e D). Esses 8 estudantes não apresentaram produções escritas a serem consideradas para a análise. Os outros 93 estudantes responderam a questão e apresentaram explicações para as suas respostas.

De acordo com os referenciais do PISA, responderam corretamente a questão de tema Milho os 59 estudantes que assinalaram a alternativa D. Outros 34 estudantes assinalaram as alternativas: A (11 estudantes); B (14 estudantes); C (5 estudantes); B e D (2 estudantes); A, B e D (1 estudante); A, B, C e D (1 estudante).

As 93 produções escritas foram analisadas e agrupadas em 4 categorias, conforme o apresentado no Quadro 21.

Quadro 21 – Categorização da produção escrita dos estudantes para a questão de tema Milho

Categorias	Descrição das categorias	Estudantes
C1	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta e que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão.	*D: E ₄ , E ₉ , E ₁₄ , E ₁₅ , E ₁₇ , E ₂₂ , E ₃₂ , E ₃₄ , E ₃₅ , E ₄₁ , E ₄₉ , E ₅₀ , E ₅₄ , E ₈₃ , E ₉₅ , E ₉₉ (17,20% das PE)
C2	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	D: E ₁ , E ₆ , E ₇ , E ₈ , E ₁₃ , E ₁₆ , E ₂₁ , E ₃₈ , E ₃₉ , E ₄₄ , E ₄₇ , E ₅₁ , E ₅₂ , E ₅₅ , E ₅₆ , E ₅₇ , E ₆₁ , E ₆₂ , E ₆₀ , E ₆₃ , E ₆₆ , E ₆₅ , E ₆₇ , E ₇₁ , E ₇₃ , E ₇₄ , E ₇₅ , E ₇₆ , E ₇₉ , E ₈₀ , E ₈₂ , E ₈₄ , E ₈₆ , E ₈₇ , E ₈₈ , E ₈₉ , E ₉₂ , E ₉₃ , E ₉₄ , E ₉₆ , E ₉₈ , E ₁₀₀ (45,16% das PE)
C3	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa incorreta e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	A: E ₃₃ , E ₃₆ , E ₄₃ , E ₆₈ , E ₆₉ , E ₇₂ , E ₈₁ ; B: E ₂ , E ₃ , E ₅ , E ₁₈ , E ₂₀ , E ₂₃ , E ₄₀ , E ₄₅ , E ₄₆ , E ₄₈ , E ₆₄ , E ₈₅ ; C: E ₁₂ , E ₂₄ ; B e D: E ₃₀ , E ₅₉ ; A, B e D: E ₄₂ ; A, B, C e D: E ₉₀ ; (26,88% das PE)
C4	Produções escritas insuficientes para interpretação, consideradas sem sentido ou confusas e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	A: E ₁₀ , E ₂₈ , E ₅₃ , E ₇₈ ; B: E ₁₁ , E ₃₇ ; C: E ₁₉ , E ₂₉ , E ₉₁ ; D: E ₅₈ (10,75% das PE)

*As letras maiúsculas em negrito indicam a alternativa assinalada na resposta de cada estudante.
PE: produções escritas.

Fonte: O próprio autor

Quadro 22 – Enunciado da questão de tema Milho**Questão: MILHO**

No final da reportagem, Ferwerda refere-se aos cientistas que dizem que o gás carbônico não é a causa principal do efeito estufa. Karina encontra a tabela a seguir que mostra o efeito estufa relativo, causado por quatro gases:

Efeito estufa relativo por molécula de gás			
Gás carbônico	Metano	Óxido nitroso	Clorofluorcarboneto
1	30	160	17000

A partir desta tabela, Karina não pode determinar qual gás é a causa principal do aumento do efeito estufa. É necessário combinar os dados da tabela com outros dados para que Karina possa determinar qual dos gases é a causa principal do aumento do efeito estufa. Que outros dados Karina precisa coletar?

Fonte: Adaptado do documento “Itens Liberados de Ciências” (INEP, 2012, Questão 7, p. 44)

Para responder corretamente a questão da temática Milho e consequentemente fornecer uma explicação para sua resposta, a fim de poder estimar qual dos gases seria o principal causador do aumento do Efeito Estufa, o estudante deveria perceber que os dados que poderiam ser correlacionados com os dados da tabela da questão – que correspondem ao Efeito Estufa relativo de cada molécula de gás – seriam os dados sobre a quantidade de cada um dos gases encontrados na atmosfera.

Ao mencionar essas ideias em suas explicações, infere-se que os estudantes demonstram apresentar indícios de envolvimento com as Práticas Científicas relacionadas à questão: PC3 – Planejar e realizar investigações; PC4 – Analisar e interpretar dados; PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional; e, PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências.

Diante desse contexto e com base na produção escrita dos estudantes investigados, constata-se que aqueles que responderam corretamente a questão de tema Milho e elucidaram em suas explicações os dados a serem correlacionados a fim de poder estimar o gás responsável pelo aumento do Efeito Estufa, consequentemente demonstraram indícios da manifestação das Práticas Científicas PC3, PC4, PC5 e PC7 em suas produções escritas, sendo alocadas na categoria C1, que denota as produções escritas que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão.

A seguir são apresentados alguns exemplos das produções escritas agrupadas na categoria C1:

D: Os dados da quantidade de molécula na atmosfera são essenciais para esse estudo, pois pode ser que certa molécula é bem mais prejudicial do que outras, porém de que adianta uma molécula do 4º elemento da tabela [Clorofluorcarboneto] para milhões de gás carbônico. (E₁₇)

D: Por exemplo, o efeito relativo encontrado no gás carbônico é relativamente pequeno, porém há muito desse gás e por mais que o do clorofluorcarboneto seja alto, pode haver pouco dele. (E₃₂)

D: Combinando a abrangência dos gases poluentes presentes na atmosfera com os dados da tabela, Karina conseguirá responder qual é o principal causador do efeito estufa, já que o número correspondente ao grau do "estrago" causado por cada gás seria multiplicado pela sua quantidade. (E₃₅)

D: Mesmo que certa molécula de gás, sozinha, expresse pouco o efeito estufa, ela, em maiores quantidades, pode se tornar um problema para a atmosfera. (E₄₉)

D: Se por exemplo são encontradas uma molécula de metano a cada X metros e 31 moléculas de gás carbônico na mesma proporção, o segundo gás terá maior emissão. (E₅₄)

D: Ela precisa saber a quantidade desses gases na atmosfera e ao multiplicar o número da tabela com a quantidade, a molécula que obtiver o maior resultado será a principal responsável pelo efeito estufa. (E₈₃)

D: Não adianta um clorofluorcarboneto causar tanto assim sendo que quase não tem dele na Terra. Ela deve pesquisar sobre o quanto tem de cada. (E₉₅)

D: Ela precisa dos dados da tabela mais os dados da quantidade de cada um dos gases encontrados para calcular o quão prejudicial é para as pessoas. (E₉₉)

De acordo com as produções escritas exemplificadas, verifica-se que os estudantes conseguem relacionar o dado sobre o Efeito Estufa relativo por molécula de gás com um possível dado a respeito da quantidade desses gases na atmosfera, demonstrando compreensão sobre quais informações devem ser coletadas e relacionadas a fim de poder estimar o gás responsável pelo aumento do Efeito Estufa.

O planejamento e a condução de uma investigação requerem, primordialmente, a identificação daquilo que está sendo investigado (NRC, 2012). Desse modo, quando em sua explicação o estudante faz referência aos dados sobre as quantidades dos gases encontrados na atmosfera e aos dados sobre o Efeito Estufa relativo desses gases, infere-se que, para a questão da temática Milho em específico, ele apresenta indícios de envolvimento com a PC3 – Planejar e realizar investigações –, uma vez que reconhece os dados que devem ser coletados e conseqüentemente tratados, a fim de testar as hipóteses elucidadas no texto da questão, que denota o impasse a respeito do gás carbônico em ser a principal substância responsável pelo aumento do Efeito Estufa.

E, ao combinar os dados sobre as quantidades dos gases com os dados do Efeito Estufa relativo de cada molécula de gás, interpretando-os e/ou identificando correlações, infere-se que o estudante apresenta indícios de

envolvimento, também, com a PC4 – Analisar e interpretar dados –, uma vez que consegue analisar os dados para obter significado, atingindo os objetivos da questão, já que esta PC se relaciona com a análise dos dados e o reconhecimento de padrões que estabelecem alguma relação com a investigação científica (NRC, 2012).

Nesse sentido, constata-se que o estudante demonstra, também, indícios de envolvimento com a PC5 – Utilizar matemática e pensamento computacional –, pois consegue estabelecer relações em formas matemáticas e prever resultados, por meio de estimativas, cálculos e/ou exemplos (NRC, 2012), a fim de determinar o gás responsável pelo aumento do Efeito Estufa.

Por fim, ao justificar sua resposta, defendendo sua explicação fundamentada em evidências que demonstram como os dados (Efeito Estufa relativo por molécula de gás) apoiam sua afirmação (NRC, 2012), para julgar que as informações (dados) necessárias para determinar o gás responsável pelo aumento do Efeito Estufa são sobre as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera, o estudante apresenta indícios de envolvimento com a PC7 – Envolver-se em argumentos a partir de evidências.

Por exemplo, em suas explicações, E₁₇, E₃₂ e E₅₄ estabelecem relações quantitativas (PC5) entre dois gases, identificando (PC3) e comparando os dados presentes na tabela da questão (PC4) a fim de justificar (PC7) a alternativa assinalada em suas respostas (D. Dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera).

Os estudantes E₁₇ e E₃₂ indicam relações entre o clorofluorocarboneto (CFC) e o gás carbônico (CO₂), supondo que, apesar do alto Efeito Estufa relativo do CFC, este gás poderia não ser o principal responsável pelo aumento do Efeito Estufa caso o CO₂ estivesse em maior quantidade na atmosfera. E₅₄ apresenta uma explicação similar, porém estabelece relações entre os gases metano (CH₄) e carbônico.

Os estudantes E₄₉ e E₉₅ tomaram como exemplo uma (certa) molécula de gás e, por meio de suas produções escritas, que expressam suas justificativas para a resposta assinalada na questão (PC7), conseguem realizar estimativas (PC5), identificando (PC3) e relacionando (PC4) o valor do Efeito Estufa relativo de um (certo) gás com sua quantidade na atmosfera.

E, ao defenderem suas explicações fundamentando-se nas evidências que demonstram como os dados sobre o Efeito Estufa relativo por molécula

de gás apoiam a resposta assinalada (PC7), verifica-se que os estudantes E₃₅, E₈₃ e E₉₉ identificam (PC3) e estabelecem combinações (PC4) entre os dados do Efeito Estufa relativo com as quantidades dos gases por meio de cálculos, prevendo resultados (PC5) a fim de poder determinar o gás responsável pelo aumento do Efeito Estufa. Os estudantes E₃₅ e E₈₃ explicitam, ainda, a realização de uma operação matemática de multiplicação entre a quantidade de cada gás encontrada na atmosfera com seu Efeito estufa relativo, estimando que o gás que obtiver maior valor nesse cálculo será o principal responsável pelo aumento do Efeito Estufa.

Diante da análise das produções escritas alocadas na categoria C1, constata-se indícios de envolvimento dos estudantes com as Práticas Científicas ao responderem corretamente a questão de tema Milho e, conseqüentemente, apresentarem justificativas que corroboram suas respostas, neste caso em específico, explicações que contemplam a identificação, a interpretação e a correlação dos dados do Efeito Estufa relativo por molécula de gás com os dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera.

A categoria C2 denota as produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta na questão de tema Milho, entretanto apresentam explicações que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão no que diz respeito aos conhecimentos e Práticas Científicas relacionadas a ela.

As produções escritas alocadas nesta categoria demonstram que os estudantes consideram apenas a quantidade de cada gás encontrada na atmosfera, sem estabelecer relação com os dados a respeito do Efeito Estufa relativo por molécula de gás, conforme os exemplos apresentados, a seguir:

D: Pois se ela saber a quantidade, ela iria saber qual dos gases é a causa principal do aumento do efeito estufa. (E₂₁)

D: Se Karina descobrir a quantidade que cada gás que é encontrada na atmosfera, logo se consegue deduzir qual é o principal. (E₆₂)

D: Se o tema é saber sobre o que causa o efeito estufa, não há maneira melhor do que encontrar a quantidade de cada um na atmosfera. (E₈₈)

D: Pois o gás que mais se encontra na atmosfera (que agride) é o de maior número. (E₃₈)

D: A maior quantidade de gás irá informar o "culpado" pelo efeito estufa. (E₇₆)

D: O gás que mais tiver na atmosfera é o problema. (E₉₂)

De acordo com as produções escritas exemplificadas, E₂₁, E₆₂, E₈₈ e outros 28 estudantes apenas reproduzem a informação da alternativa assinalada, ou seja, mencionaram que deveriam ser coletados dados sobre as quantidades de cada

um dos gases encontrados na atmosfera. Enquanto onze estudantes (E₃₈, E₆₀, E₆₃, E₇₃, E₇₆, E₇₉, E₈₂, E₈₇, E₈₉, E₉₂, E₉₈) justificam suas respostas mencionando a informação de que o gás em maior quantidade na atmosfera seria o responsável pelo aumento do Efeito Estufa, sem considerar e/ou correlacionar as informações presentes na tabela da questão, que se referem aos dados sobre o Efeito Estufa relativo por molécula de gás.

Assim, embora tenham assinalado a alternativa correta como resposta para a questão de tema Milho, 42 estudantes não explicitam, em suas produções escritas, a relação sobre quais dados deveriam ser combinados para conhecer o gás responsável pelo aumento do Efeito Estufa e, dessa maneira, a não mobilização dessas ideias indicam que estes estudantes não tenham se envolvido com as Práticas Científicas PC3, PC4, PC5 e PC7 durante a construção de suas explicações.

Vinte e cinco estudantes que não responderam corretamente a questão da temática Milho, ou seja, não assinalaram a alternativa D (Dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera), forneceram explicações indicando que deveria ser necessário conhecer informações relacionadas aos gases para determinar o responsável pelo aumento do Efeito Estufa ou para prevenir e/ou evitar esse fenômeno (E₀₇ e E₆₈).

As produções escritas destes estudantes se distanciam dos objetivos de resposta para a questão no que diz respeito aos conhecimentos científicos e às Práticas Científicas, por isso foram agrupadas na categoria C3. A seguir, são apresentados exemplos de produções escritas alocadas nesta categoria:

A: Ela precisa saber exatamente de onde os gases estão vindo, tem que saber qual é a sua fonte, sua origem, pois assim facilitaria para saber qual gás é a principal causa do efeito estufa. (E₃₆)

A: Sabendo a origem dos gases podemos ajudar a prevenir e assim evitar esse aumento do efeito estufa. (E₆₈)

B: Se ela coletar dados sobre a absorção dos gases pelas plantas, então ela pode ver qual é mais absorvido e transformado em oxigênio para nós, e ver qual realmente é o maior causador do efeito estufa. (E₈₅)

C: Pois precisa saber o tamanho, pois pode mudar o resultado. (E₁₂)

A, B, C e D: Todos foi para estudar um aumento tão complexo, o que exige um estudo desde a origem do gás até qual a quantidade de cada um deles na atmosfera, pois apenas uma fonte não é suficiente, é necessário encontrar a raiz do problema e também a causa. (E₉₀)

Vinte e um estudantes assinalaram uma alternativa de resposta e mencionaram em suas produções escritas a necessidade de se conhecer informações sobre a origem dos quatro gases (7 estudantes), a absorção dos quatro gases pelas plantas (12 estudantes) e o tamanho das moléculas dos quatro gases elencados (2 estudantes) a fim de conhecer o gás responsável pelo aumento do Efeito Estufa.

Outros quatro estudantes assinalaram mais de uma alternativa como resposta para a questão e indicaram, em suas produções escritas, que seria necessário conhecer informações sobre: a absorção dos quatro gases pelas plantas e as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera (2 estudantes); a origem dos quatro gases, a absorção dos quatro gases pelas plantas e as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera (1 estudante); e, a origem dos quatro gases, a absorção dos quatro gases pelas plantas, o tamanho dos quatro tipos de moléculas e as quantidades de cada um dos gases encontradas na atmosfera (1 estudante).

A alternativa de resposta assinalada incorretamente na questão de tema Milho e consequentemente a justificativa para a resposta evidenciam que as produções escritas alocadas na categoria C3 se distanciam dos objetivos de resposta/explicação para a questão. Sendo assim, pode-se inferir que os estudantes demonstram não mobilizar corretamente os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas PC3, PC4, PC5 e PC7 para construir suas produções escritas.

Nessa mesma perspectiva, têm-se as produções escritas agrupadas na categoria C4, que denotam àquelas consideradas sem sentido ou confusas em relação à alternativa assinalada pelo estudante, ou seja, insuficientes para interpretação, e que também se distanciam dos objetivos de resposta para a questão da temática Milho.

A seguir são apresentadas algumas produções escritas alocadas na categoria C4:

A: Porque ambos são gases altamente poluentes. (E₇₈)

B: Pois as plantas, como nós também, respiram e assim elas liberam o gás tóxico na atmosfera. (E₁₁)

C: Porque os quatro são do mesmo tamanho. (E₂₉)

D: Tudo depende da quantidade. O metano, por exemplo, se colocar uma grande quantidade de oxigênio e baixa quantidade de metano, não terá influência alguma do metano. (E₅₈)

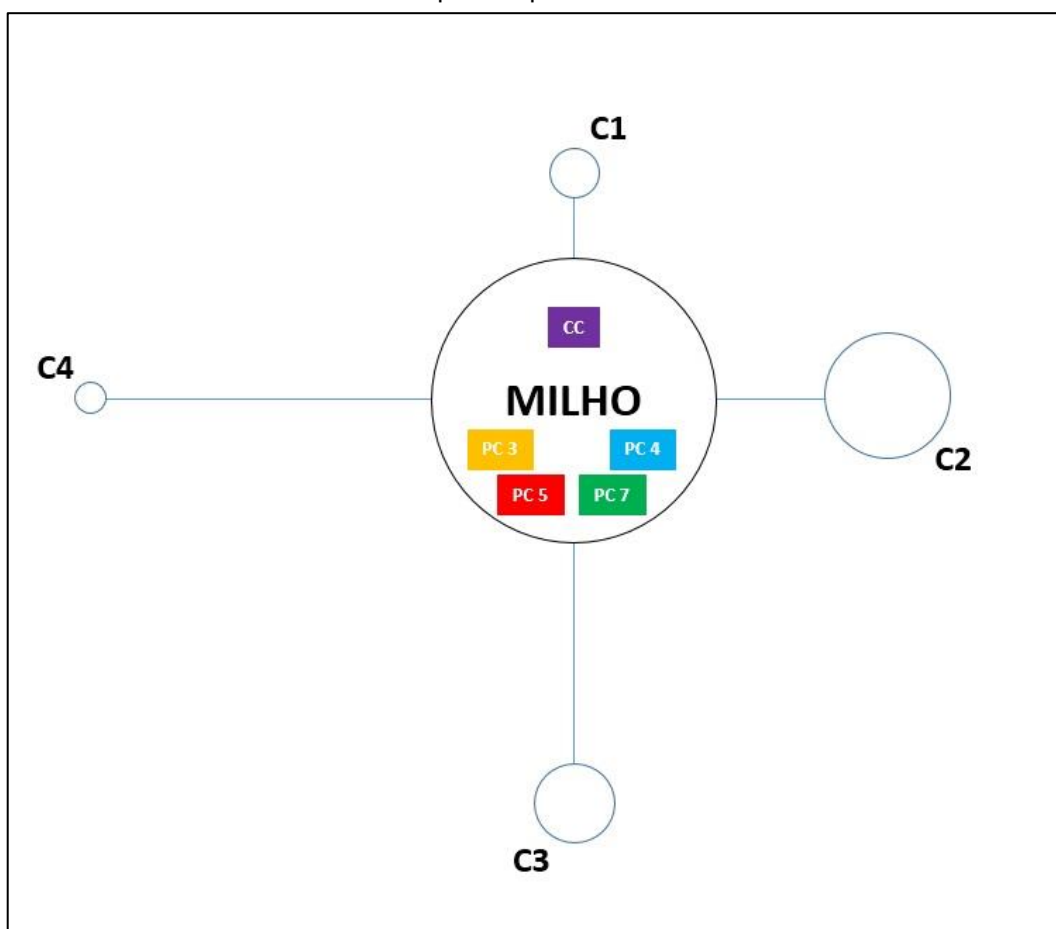
O estudante E₇₈ indica, em sua alternativa assinalada, que é necessário coletar dados sobre a origem dos quatro gases e, em sua justificativa, relata que “ambos são gases altamente poluentes”, sem especificar quais gases estão sendo relacionados em sua comparação, uma vez que a palavra ambos é usada para indicar dois termos. Além disso, E₇₈ não poderia afirmar que “são gases altamente poluentes”, pois para comprovar tal afirmação deveria conhecer os dados sobre as quantidades de cada gás na atmosfera e, ao consultar a tabela presente na questão, E₇₈ deveria, ainda, perceber que os gases apresentam diferentes dados a respeito do Efeito Estufa relativo que, neste caso, representa como mais poluente, em ordem crescente: dióxido de carbono < metano < óxido nitroso < clorofluorcarboneto. Nesta questão, em específico, o gás mais poluente é aquele que apresenta o maior valor do produto do Efeito Estufa relativo com a quantidade de cada gás encontrada na atmosfera.

Os estudantes E₁₁ e E₂₉ apresentam explicações sem sentido em relação à alternativa assinalada como resposta. Ao indicar uma resposta relacionada com a absorção dos quatro gases pelas plantas, E₁₁ apresenta justificativa indicando a emissão de gases tóxicos para a atmosfera, não satisfazendo os objetivos da questão. Enquanto E₂₉, ao responder que os dados a serem coletados para determinar qual dos gases é a causa principal do aumento do Efeito Estufa deveriam ser sobre o tamanho dos quatro tipos de moléculas, indica em sua explicação que todos os gases possuem o mesmo tamanho. Nesse caso, ao conhecer o tamanho dos gases e predizer que todos possuem o mesmo, não se faz necessário coletar esse tipo de informação para realizar a investigação científica.

Por fim, apesar de responder corretamente a questão de tema Milho, E₅₈ se confunde ao correlacionar os dados da quantidade e do Efeito Estufa relativo de dois gases, uma vez que exemplifica o gás oxigênio, que não faz parte dos gases causadores do Efeito Estufa descritos na tabela da questão.

Diante da análise realizada, verifica-se que as produções escritas dos estudantes alocadas em 4 categorias expressam a proximidade ou o distanciamento da resposta/explicação esperada para a questão de tema Milho com base nos conhecimentos científicos e nas Práticas Científicas associadas à questão. Nesse sentido, a fim de entender um pouco melhor a análise realizada, foi elaborado um esquema que representa a interpretação das produções escritas alocadas nas categorias C1, C2, C3 e C4 (Figura 2).

Figura 2 – Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio para a questão de tema Milho



Fonte: O próprio autor

A representação possui um círculo central que corresponde à questão de tema Milho, que apresenta um objetivo para a sua resolução contemplando conhecimentos científicos (CC) e as Práticas Científicas: Planejar e realizar investigações (PC3), Analisar e interpretar dados (PC4), Utilizar matemática e pensamento computacional (PC5) e Envolver-se em argumentos a partir de evidências (PC7). O tamanho do círculo relacionado à questão corresponde à 100% das produções escritas consideradas para análise, totalizando 93.

Os círculos menores, que estão interligados ao círculo central por um traço, correspondem às categorias que abarcam as produções escritas que se aproximaram ou se distanciaram dos objetivos de resposta para a questão de tema Milho. O tamanho do círculo se relaciona à porcentagem de produções escritas alocadas em cada uma das categorias: 17,20% das PE na C1; 45,16% das PE na C2; 26,88 das PE na C3; e, 10,75% das PE na C4.

Assim, por meio do processo analítico de categorização foi possível verificar que as 16 produções escritas alocadas na categoria C1 foram aquelas que mais se aproximaram da resposta/explicação esperada para a questão da temática Milho. Por meio de suas explicações, os estudantes demonstraram mobilizar os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas associadas ao objetivo de resposta da questão, a fim de respondê-la e fornecer explicações corretamente, em específico, identificar e associar as informações do suporte e do enunciado do item a ser resolvido.

Na categoria C2 foram agrupadas as produções escritas de 41 estudantes que responderam corretamente a questão, porém se distanciaram de uma explicação esperada para a questão de tema Milho, no que diz respeito à mobilização dos conhecimentos científicos e das Práticas Científicas PC3, PC4, PC5 e PC7. Esta ideia ficou mais evidente nas categorias subsequentes (C3 e C4), uma vez que os estudantes, além de assinalarem a alternativa incorreta de resposta (com exceção de E₅₈), apresentaram, também, produções escritas (explicações) que se distanciaram dos conhecimentos científicos e das Práticas Científicas associadas à questão.

Diante de tais constatações, pode-se inferir que, ao mobilizar as Práticas Científicas PC3, PC4, PC5 e PC7 em suas produções escritas, os estudantes conseguem construir explicações mobilizando, também, os conhecimentos científicos relacionados aos objetivos de resolução da questão da temática Milho, ou seja, conseguem apresentar uma justificativa para sua resposta, que denota a identificação e associação dos dados do Efeito Estufa relativo de cada molécula de gás com os dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontrados na atmosfera, a fim de estimar a espécie responsável pelo do aumento do Efeito Estufa.

Na sequência é apresentada a análise da produção escrita para a questão de tema Massa de Pão.

3.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO ESCRITA: QUESTÃO DE TEMA MASSA DE PÃO

Para a questão de tema Massa de Pão, dentre os 101 estudantes participantes da pesquisa, 7 não assinalaram nenhuma alternativa de resposta e, conseqüentemente, não apresentaram produções escritas (E₂₅, E₂₆, E₂₉, E₃₀, E₇₀, E₉₇, E₁₀₁). E, apesar de um estudante ter respondido corretamente a questão, este também

não apresentou explicação para sua resposta (E₅₇). Outros 93 responderam a questão e apresentaram produções escritas a serem consideradas para análise.

Dentre esses 93 estudantes, 60 responderam corretamente a questão da temática Massa de Pão, uma vez que assinalaram a alternativa B (Suas moléculas se movimentam mais rapidamente). Os 33 estudantes que não acertaram a questão, de acordo com os referenciais do PISA, assinalaram as alternativas: A (17 estudantes), C (14 estudantes) e D (2 estudantes).

As 93 produções escritas foram analisadas e agrupadas em 4 categorias, conforme o Quadro 23 a seguir.

Quadro 23 – Categorização da produção escrita dos estudantes para a questão de tema Massa de Pão

Categorias	Descrição das categorias	Estudantes
C1	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta e que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão.	*B: E ₁ , E ₂ , E ₄ , E ₆ , E ₈ , E ₁₀ , E ₁₁ , E ₁₂ , E ₁₅ , E ₁₇ , E ₁₉ , E ₂₇ , E ₃₂ , E ₃₄ , E ₃₅ , E ₄₁ , E ₄₂ , E ₄₄ , E ₄₇ , E ₄₉ , E ₅₀ , E ₅₁ , E ₅₂ , E ₅₅ , E ₅₈ , E ₅₉ , E ₆₀ , E ₆₁ , E ₆₄ , E ₆₅ , E ₆₇ , E ₇₆ , E ₇₇ , E ₈₀ , E ₈₁ , E ₈₃ , E ₈₅ , E ₉₀ , E ₉₃ , E ₉₄ (43,01% das PE)
C2	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	B: E ₃ , E ₇ , E ₉ , E ₁₆ , E ₂₀ , E ₂₂ , E ₂₄ , E ₂₈ , E ₃₁ , E ₄₃ , E ₄₈ , E ₅₆ , E ₆₉ , E ₇₃ , E ₇₄ , E ₇₈ , E ₈₉ , E ₉₂ , E ₉₉ (20,43% das PE)
C3	Produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa incorreta e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	A: E ₁₃ , E ₂₁ , E ₂₃ , E ₃₃ , E ₃₆ , E ₃₇ , E ₄₅ , E ₄₆ , E ₆₆ , E ₇₂ , E ₈₂ , E ₉₅ , E ₉₆ , E ₉₈ ; C: E ₁₈ , E ₃₈ , E ₃₉ , E ₅₄ , E ₆₃ , E ₆₈ , E ₇₁ , E ₇₅ , E ₇₉ , E ₈₆ , E ₈₈ , E ₉₁ , E ₁₀₀ ; D: E ₅ , E ₆₂ (31,18% das PE)
C4	Produções escritas insuficientes para interpretação, consideradas sem sentido ou confusas e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	A: E ₁₄ , E ₄₀ , E ₅₃ ; B: E ₈₄ ; C: E ₈₇ (5,38% das PE)

*As letras maiúsculas em negrito indicam a alternativa assinalada na resposta de cada estudante.
PE: produções escritas.

Fonte: O próprio autor

Quadro 24 – Enunciado da questão de tema Massa de Pão

Questão: MASSA DE PÃO

Quando o pão fermentado é colocado no forno para assar, bolsas de gás e vapor se expandem na massa. Por que o gás e os vapores se expandem quando aquecidos?

Fonte: Adaptado do documento "Itens Liberados de Ciências" (INEP, 2012, Questão 4, p. 88)

Para responder corretamente a questão de tema Massa de Pão e conseqüentemente fornecer uma explicação para sua resposta, a fim de selecionar a alternativa que contempla a explicação da expansão de gases e vapores quando aquecidos, o estudante deveria basear-se na Teoria Cinética dos Gases, enunciada por: O aquecimento de um gás faz com que suas moléculas se movimentem mais rapidamente e se choquem “com mais frequência com as paredes do recipiente que as contém” (ATKINS; JONES, 2006, p. 253), ou seja, o aumento da quantidade de calor em um sistema propicia o aumento do grau de agitação das moléculas de gases e vapores, fazendo com que se expandam e, nesta questão em específico, a expansão dessas substâncias possibilita o crescimento da massa de pão.

Ao mencionar essas ideias em suas explicações, infere-se que os estudantes demonstram apresentar indícios de envolvimento com a Prática Científica PC6 – Construir explicações.

Os 40 estudantes que responderam corretamente a questão de tema Massa de Pão e que conseguiram justificar suas respostas com base na Teoria Cinética dos Gases demonstraram indícios de envolvimento com a PC6 (Construir explicações) e tiveram suas produções escritas agrupadas na categoria C1, que contempla as respostas/explicações que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão.

A seguir são apresentados alguns registros alocados na categoria C1:

B: Ao aumentar a temperatura, as moléculas começam a ficar mais agitadas, assim o gás e os vapores se expandem. (E₁)

B: Quanto mais alta a temperatura, mais o gás fica agitado, saindo da massa do pão. (E₁₇)

B: Com o aumento do calor, as moléculas se colidem mais rápido. Com isso, facilita o aumento do pão (com a ajuda do fermento). (E₃₄)

B: Porque quando aquecemos um gás ele expande, devido a agitação de suas moléculas. (E₃₅)

B: Fornecer calor a uma molécula, ela se agita com maior intensidade, necessitando de mais espaço para se mover, por isso se expande. (E₄₄)

B: Ao aquecer um gás há um aumento no grau de agitação das moléculas, ocorrendo a expansão. (E₅₈)

B: O gás e os vapores se expandem quando aquecidos, pois a elevação da temperatura aumenta a agitação das moléculas do gás, que colidem com maior frequência. Assim se expandem. (E₅₉)

B: Pelo simples fato que as moléculas, quando são expostas ao calor, elas começam ficar agitadas, começa uma ficar mais separada uma da outra, assim fazendo a massa se expandir. (E₉₃)

De acordo com as produções escritas alocadas na categoria C1 e exemplificadas, verifica-se que os estudantes mobilizam, de alguma forma,

conhecimentos relacionados à Teoria Cinética dos Gases para responder corretamente a questão e, com isso, conseguem defender suas respostas. Nesse sentido, ao mobilizar a Teoria Cinética dos Gases na situação específica da questão, isto é, ao justificar o fenômeno da expansão dos gases quando aquecidos, construindo explicações coerentes e lógicas relacionadas à compreensão atual da Ciência (NRC, 2012), o estudante apresenta indícios de envolvimento com a PC6 – Construir explicações.

Ao responderem que gases e vapores se expandem quando aquecidos porque suas moléculas se movimentam mais rapidamente, os estudantes mencionam, em suas explicações, que este fenômeno ocorre pois o calor propicia o aumento do grau de agitação das moléculas e/ou que estas passam a se colidir mais rapidamente, corroborando a Teoria Cinética dos Gases.

Por exemplo, os estudantes E₁, E₁₇, E₃₅, E₄₄, E₅₈ e E₉₃ indicam que o calor (ou aquecimento) propicia o aumento do grau de agitação (ou a agitação) de gases e vapores, enquanto E₃₄ elucida que o fenômeno da expansão de gases e vapores quando aquecidos é causado pelo aumento do número de colisões das moléculas dessas espécies. E₅₉ mobiliza, em sua produção escrita, a ideia de que o aumento do grau de agitação das moléculas devido ao calor faz com que essas espécies passem a se colidir com maior frequência.

Assim, com base nas produções escritas exemplificadas e alocadas na categoria C1, para a questão de tema Massa de Pão foi possível observar indícios de envolvimento com a PC6 os estudantes que responderam corretamente e, conseqüentemente, apresentaram explicações que corroboram suas respostas, neste caso em específico, àquelas que mobilizaram aspectos relacionados à Teoria Cinética dos Gases.

A categoria C2 denota as produções escritas dos alunos que assinalam a alternativa correta na questão de tema Massa de Pão, entretanto apresentam explicações que se distanciam dos objetivos de resposta no que diz respeito aos conhecimentos e à Prática Científica relacionada a ela.

As 19 produções escritas alocadas nesta categoria contemplam explicações que se relacionam apenas à ideia de que as moléculas de gás e vapores se movimentam mais rapidamente quando aquecidas, não fundamentando-se na Teoria Cinética dos Gases, conforme os exemplos apresentados, a seguir:

B: Suas moléculas se movimentam mais rapidamente por conta das bolsas de gás e vapor, se expandindo. (E₂₂)

B: Com suas moléculas se movimentando rapidamente, elas se expandem, assim deixando o pão maior. (E₂₈)

B: O calor faz elas se moverem mais rápido, tendo então uma reação. (E₇₃)

B: Quanto mais fermentado que o pão estiver, mais as suas moléculas se movimentam, e acaba crescendo de uma forma muito rápida. (E₇₄)

Apesar de terem assinalado a alternativa correta de resposta, os estudantes constroem explicações não fundamentadas na ideia de que o aumento de calor possibilita o aumento da energia cinética média das moléculas de gás e vapores, evidenciado pelo aumento do grau de agitação dessas espécies, provocando a expansão e conseqüentemente o crescimento da massa de pão.

Em geral, estes estudantes apenas reproduzem informações presentes no suporte (E₇₄), no enunciado (E₂₂, E₂₈) e/ou na alternativa assinalada (E₂₂, E₂₈, E₇₃ e E₇₄) ao mencionarem que as moléculas se movimentam mais rapidamente (alternativa de resposta) devido a formação de bolsas de gás e vapor, ou que se expandem deixando o pão maior (enunciado).

Nesse sentido, mesmo tendo assinalado a alternativa correta como resposta para a questão da temática Massa de Pão, verifica-se que 19 estudantes não conseguem mobilizar, em suas produções escritas, explicações relacionadas à Teoria Cinética dos Gases e, diante disso, infere-se que eles não tenham se envolvido com a Prática Científica relacionada à questão, a PC6 – Construir explicações.

As produções escritas alocadas na categoria C3 constituem explicações dos estudantes que assinalam a alternativa incorreta na questão de tema Massa de Pão e que se distanciam dos objetivos de resposta no que diz respeito aos conhecimentos científicos e à Prática Científica associada à questão. São produções escritas que contemplam explicações relacionadas à alternativa de resposta assinalada: tamanho das moléculas (A); aumento da quantidade de moléculas (C); e, moléculas colidem com menor frequência (D).

Para a categoria C3, primeiramente são apresentados exemplos de produções escritas que se relacionam ao aumento do tamanho das moléculas de gás e vapores:

A: Por causa do fermento suas moléculas ficam maiores. (E₁₃)

A: Elas se unem, né? Deve ser isso. (E₂₃)

A: Conseqüentemente com o aumento da massa, suas moléculas também aumentam. (E₄₆)

A: O calor deve afetar as moléculas fazendo com que elas fiquem maiores, assim o pão cresce. (E₈₂)

Assim como E₈₂, outros seis estudantes (E₂₁, E₃₇, E₆₆, E₇₂, E₉₅, E₉₈) mencionam, em suas justificativas para a resposta assinalada, a influência do calor no aumento do tamanho das moléculas de gás e vapores. E, apesar da pergunta da questão relacionar a expansão de gás e vapores com o aquecimento (ou calor), outros 7 estudantes que também assinalaram a alternativa A como resposta, não consideraram esta informação em suas explicações.

De acordo com a produção escrita de E₂₃, verifica-se que o estudante demonstra compreender que moléculas de gases ou vapores aumentam de tamanho porque elas se juntam com outras moléculas formando uma outra espécie com tamanho maior; enquanto E₁₃, E₃₃ e E₃₆ justificam que o aumento no tamanho das moléculas é propiciado devido a presença de fermento na massa de pão e, E₄₆ e E₉₆ indicam, por meio de suas explicações, que as moléculas ficam maiores à medida que a massa de pão cresce.

Dando continuidade, outros 13 estudantes, que também tiveram suas produções escritas agrupadas na categoria C3, consideram o aumento da quantidade de moléculas de gás e vapores para justificar a expansão dessas substâncias. A seguir, são apresentados alguns exemplos de explicações alocadas nesta categoria:

C: O número de moléculas aumenta por causa da fermentação. (E₁₈)

C: Acredito que o número de moléculas aumenta e sendo assim, aumentando junto o resto da mistura, sendo proporcional, se uma coisa cresce, o resto também crescerá. (E₆₃)

C: Por conta da temperatura pode acabar aumentando a quantidade de moléculas. (E₈₈)

C: Combinando o fermento com a temperatura o número de moléculas aumenta. (E₁₀₀)

Alguns estudantes que assinalam a alternativa C como resposta também levam em conta a influência do calor, e/ou a presença de fermento na massa de pão e/ou estabelecem uma ideia de proporcionalidade para explicarem a expansão de gases e vapores quando aquecidos.

Assim como E₈₈, 5 estudantes (E₅₄, E₇₁, E₇₅, E₈₆, E₉₁) relacionam a influência do calor no aumento da quantidade de moléculas na massa de pão; enquanto E₁₈ e E₃₉ consideram que o aumento no número de moléculas nessa mistura

é provocado pela presença de fermento. E₁₀₀ justifica tal aumento considerando a influência do calor (temperatura) e a presença de fermento na massa de pão.

Os estudantes E₃₉, E₆₃, E₆₈ e E₇₉ consideram, em suas produções escritas, uma ideia de proporcionalidade ao mencionar que o aumento da massa de pão ocorre porque a quantidade de moléculas presentes nessa mistura também aumenta.

Por fim, ainda na categoria C3 foram alocadas duas produções escritas de estudantes que assinalam a alternativa D como resposta para a questão de tema Massa de Pão e apresentam explicações baseadas na ideia da reposta, de que as moléculas de gás e vapores colidem com menor frequência ao se expandirem quando aquecidas, conforme os exemplos apresentados, a seguir:

D: Pois quando as moléculas se colidem, os gases e os vapores vão se expandir para que parem de se colidir. (E₅)

D: Quando se aquece o pão fermentado, se é liberado CO₂ em forma de gás, onde que por si só, gases tem suas moléculas mais soltas e menos juntas do que o sólido ou o líquido, possibilitando com que elas se libertem e possam ir para a atmosfera. (E₆₂)

A informação de que as moléculas de gás e vapores colidem com menor frequência ao se expandirem quando aquecidas vai de encontro ao conhecimento científico relacionado ao fenômeno, ou seja, é contrária à Teoria Cinética dos Gases. Assim, ao assinalarem a alternativa de resposta que contempla essas informações, os estudantes já cometem um erro conceitual.

O estudante E₅ entende que as moléculas de gás e vapores se colidem quando aquecidas, porém menciona que estas espécies se expandem para cessar a colisão entre elas.

Já o estudante E₆₂ demonstra compreender, por meio de sua produção escrita, que os estados da matéria sólido e líquido não possuem uma forma fluida que ocupa todo recipiente que os contêm, diferentemente da matéria na forma gasosa, que tem suas moléculas distantes umas das outras e que se movem aleatoriamente, podendo se colidirem entre si e com as paredes do recipiente (ATKINS; JONES, 2006; BROWN et al., 2005). Entretanto, este estudante indica, em sua resposta, que gás e vapores colidem com menor frequência quando aquecidos e fornece uma justificativa com base no estado físico dessas espécies, mencionando

que as moléculas saem da massa de pão, a fim de diminuir a colisão entre elas, não satisfazendo os objetivos de resposta/explicação relacionados à questão.

Na categoria C4 foram alocadas algumas produções escritas insuficientes para interpretação, consideradas sem sentido ou confusas em relação à alternativa assinalada pelo estudante e que também se distanciam dos objetivos de resposta para a questão de tema Massa de Pão. Na sequência são apresentados alguns exemplos de produções escritas agrupadas nesta categoria:

A: Pois a massa aquece e o fermento fica maior. (E₁₄)

B: As moléculas do fermento ficam mais rápidas, pois quando se coloca calor nas moléculas, elas tendem a se movimentar mais. (E₈₄)

C: O aquecimento relaxa as moléculas fazendo com que expande elas. (E₈₇)

Os estudantes E₁₄ e E₈₄ não se baseiam nas informações da questão para construir suas justificativas de resposta, uma vez que, ao indicarem que gás e vapores se expandem quando aquecidos porque suas moléculas ficam maiores (E₁₄) e porque suas moléculas se movimentam mais rapidamente (E₈₄), consideram que isso ocorre com as moléculas de fermento ao invés das moléculas de gás e vapores, não corroborando os objetivos da questão. E, ao responder que gás e vapores se expandem quando aquecidos devido ao aumento na quantidade de moléculas, E₈₇ apresenta uma explicação sem nenhuma relação com a resposta assinalada, uma vez que indica que o aquecimento relaxa as espécies.

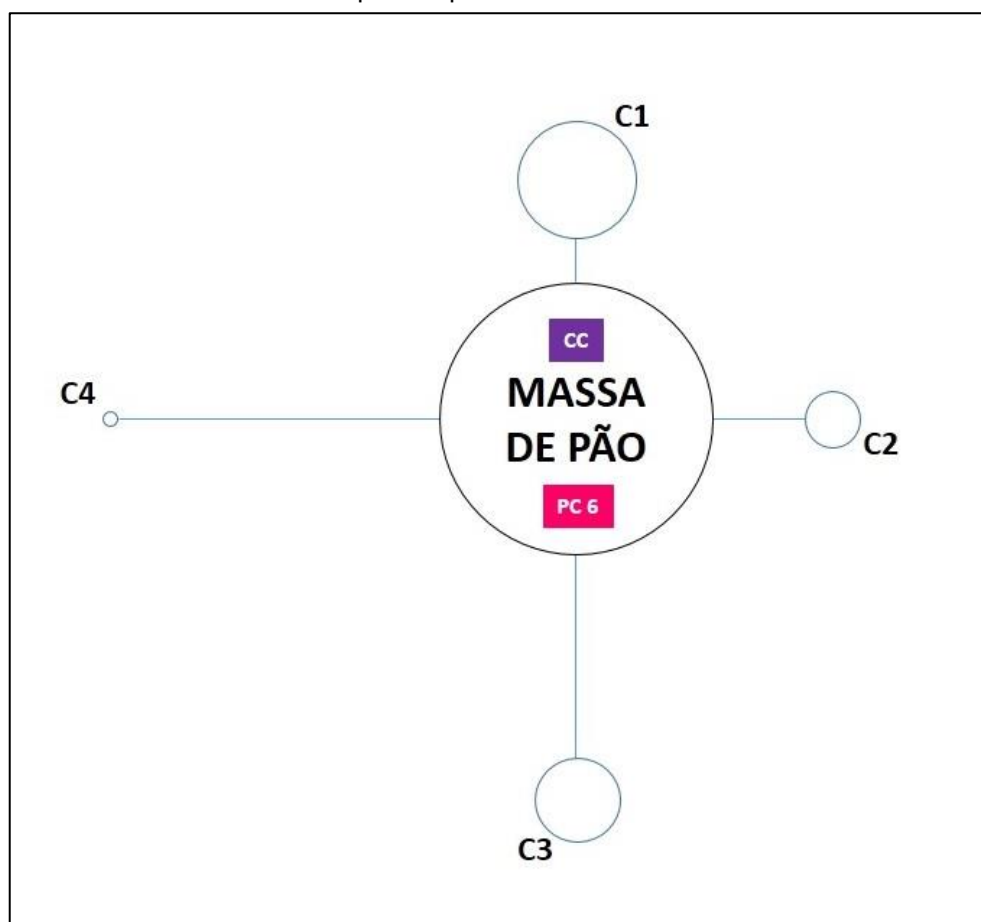
Diante da análise das explicações (produções escritas) apresentadas para a resposta da questão de tema Massa de Pão, verifica-se que, assim como para a questão da temática Milho, as produções escritas também expressam proximidades ou distanciamentos com a resposta/explicação esperada, levando em consideração os conhecimentos científicos e a Prática Científica associada à questão.

A Figura 3 apresenta um esquema que representa a interpretação das produções escritas alocadas nas categorias C1, C2, C3 e C4 desta questão de Ciências do PISA.

Nessa representação, o círculo central relacionado à questão apresenta um objetivo de resolução que contempla conhecimentos científicos (CC) (em específico, a Teoria Cinética dos Gases) e a Prática Científica PC6 (Construir explicações). Já os círculos menores interligados ao círculo central correspondem às categorias que abarcam as produções escritas que se aproximaram ou se

distanciaram dos objetivos de resposta para a questão. O tamanho do círculo maior corresponde à 100% das produções escritas consideradas para análise, totalizando 93; enquanto os círculos menores têm seus tamanhos relacionados à porcentagem das produções escritas alocadas em cada uma das categorias: 43,01% das PE na C1; 20,43% das PE na C2; 31,18% das PE na C3; e, 5,38% das PE na C4.

Figura 3 – Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio para a questão de tema Massa de Pão



Fonte: O próprio autor

Assim, por meio do processo analítico de categorização, verifica-se que as 40 produções escritas alocadas na categoria C1 foram aquelas que mais se aproximaram da resposta/explicação esperada para a questão de tema Massa de Pão. Em suas produções escritas, os estudantes demonstraram mobilizar os conhecimentos científicos e a Prática Científica associada ao objetivo de resposta da questão a fim de respondê-la e fornecer explicações corretamente, em específico, construir explicações utilizando o conhecimento da teoria científica (NRC, 2012), a Teoria Cinética dos Gases.

Apesar de outros 19 estudantes responderem corretamente a questão de tema Massa de Pão, suas produções escritas foram alocadas na categoria C2 pois se distanciaram de uma explicação esperada, que deveria considerar a mobilização dos conhecimentos científicos e da Prática Científica PC6. Esta ideia ficou mais evidente nas categorias subsequentes (C3 e C4), uma vez que os estudantes, além de assinalarem a alternativa incorreta de resposta (com exceção de E₈₄), apresentaram, também, produções escritas (explicações) que se distanciaram dos conhecimentos científicos e da Prática Científica associada à questão.

Diante da análise das produções escritas relacionadas à questão de tema Massa de Pão, pode-se inferir que, ao mobilizar os conhecimentos científicos relacionados aos objetivos de resolução da questão, uma parcela dos estudantes investigados conseguem mobilizar, também, a Prática Científica PC6 (Construir explicações), uma vez que apresentam justificativas para suas respostas fundamentando-se no conceito científico correspondente, ou seja, apresentam explicações sobre a expansão de gases e vapores quando aquecidos considerando os conceitos relacionados à Teoria Cinética dos Gases.

A seguir é apresentada a análise da produção escrita para a questão de tema Conversor Catalítico.

3.3 ANÁLISE DA PRODUÇÃO ESCRITA: QUESTÃO DE TEMA CONVERSOR CATALÍTICO

Dentre os 101 participantes da pesquisa, 11 estudantes não apresentaram respostas/explicações para a questão de tema Conversor Catalítico (E₂₅, E₃₀, E₃₄, E₆₉, E₇₀, E₇₄, E₇₅, E₉₄, E₉₅, E₉₈ e E₁₀₁). Assim, para compor os resultados relacionados à questão, as produções escritas dos outros 90 estudantes foram analisadas considerando a proximidade com as respostas esperadas expressas no Caderno de itens liberados de Ciências do PISA, conforme o apresentado no Quadro 18 (p. 52).

Por se tratar de uma questão que demanda resposta de construção aberta, as 90 produções escritas foram analisadas e agrupadas em 3 categorias, conforme o apresentado no Quadro 25, a seguir.

Quadro 25 – Categorização da produção escrita dos estudantes para a questão de tema Conversor Catalítico

Categorias	Descrição das categorias	Estudantes
C1	Produções escritas que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão.	E1, E5, E6, E8, E14, E19, E20, E21, E22, E29, E32, E39, E42, E44, E45, E46, E47, E49, E51, E54, E55, E56, E58, E59, E60, E61, E67, E68, E71, E72, E73, E79, E86, E93, E99 (38,89% das PE)
C2	Produções escritas que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	E2, E3, E4, E7, E9, E11, E12, E13, E15, E16, E17, E18, E23, E26, E27, E31, E33, E35, E36, E38, E41, E43, E48, E50, E53, E57, E62, E63, E65, E66, E76, E77, E78, E80, E81, E82, E83, E84, E85, E87, E88, E89, E90, E92, E97, E100 (51,11% das PE)
C3	Produções escritas insuficientes para interpretação, consideradas sem sentido ou confusas e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão.	E10, E24, E28, E37, E40, E52, E64, E91, E96 (10,00% das PE)

PE: produções escritas.

Fonte: O próprio autor

Para responder corretamente a questão, os estudantes deveriam identificar, no modelo que representa um conversor catalítico, os gases que têm suas quantidades reduzidas ao passar pelo interior do equipamento, ou seja, deveriam considerar a conversão de monóxido de carbono (CO) e/ou óxidos de nitrogênio (NO, NO₂) em outros compostos menos prejudiciais, como o dióxido de carbono (CO₂) e/ou nitrogênio (N₂), respectivamente.

Quadro 26 – Enunciado da questão de tema Conversor Catalítico**Questão: CONVERSOR CATALÍTICO**

Utilize as informações da ilustração acima para dar um exemplo de como o conversor catalítico reduz o efeito prejudicial dos gases do escapamento.

*Explique sua resposta:

Fonte: Adaptado do documento “Itens Liberados de Ciências” (INEP, 2012, Questão 1, p. 96)

Assim, ao identificar, na ilustração representativa de um conversor catalítico, e indicar, em suas respostas, pelo menos um exemplo de como esse equipamento reduz o efeito prejudicial de certas substâncias emitidas pelos automóveis, infere-se que os estudantes demonstram apresentar indícios de envolvimento com as Práticas Científicas relacionadas à questão: PC2 – Desenvolver e utilizar modelos; e, PC4 – Analisar e interpretar dados.

Para a questão de tema Conversor Catalítico, de acordo com as produções escritas alocadas na categoria C1, verifica-se que 35 estudantes identificam e mencionam a conversão de monóxido de carbono (CO) e/ou óxidos de nitrogênio (NO, NO₂) em outros compostos menos prejudiciais, como o dióxido de carbono (CO₂) e/ou nitrogênio (N₂) e, diante disso, infere-se que demonstram indícios de envolvimento com as Práticas Científicas PC2 e PC4. Como mencionado, suas respostas/explicações foram agrupadas na categoria C1, que denota as produções escritas que se aproximam dos objetivos de resposta para a questão de tema Conversor Catalítico, conforme os exemplos apresentados, a seguir:

Ele reduz em 90% a emissão de gases poluentes, transforma o monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono (CO₂) e os óxidos de nitrogênio em nitrogênio. (E₆)

O conversor catalítico separa as moléculas prejudiciais transformando-as em outras moléculas, como podemos perceber no monóxido de carbono e no óxido de nitrogênio. (E₈)

O monóxido de carbono é um gás prejudicial a todos, então através do conversor catalítico, esse gás é convertido em pouco monóxido de carbono e a maior parte em dióxido de carbono, que causa menos danos ao meio ambiente. (E₃₂)

O conversor transformou os óxidos de nitrogênio em óxidos de nitrogênio (10%) e nitrogênio (90%). Ele mudou quase 100% de um gás hiper nocivo, para um menos prejudicial. (E₅₁)

Um exemplo é o monóxido de carbono (CO), onde 90% do gás é convertido em gases menos nocivos, como CO₂ (dióxido de carbono). (E₅₆)

Dentro do conversor catalítico ocorre mudança com os gases: CO → CO (10%) e CO₂ (90%). NO e NO₂ → NO, NO₂ (10%) e N₂ (90%). (E₇₂)

O monóxido de carbono (CO) é convertido em CO₂, sobrando apenas uma pequena quantidade de CO. Já no caso dos óxidos de nitrogênio (NO, NO₂), os gases são convertidos em N₂ e sobra 10% de NO e NO₂. (E₇₉)

Ele transforma um gás no outro como: monóxido de carbono em 10% dele mesmo + 90% de dióxido de carbono; o mesmo acontece com NO, NO₂ que vira 90% de nitrogênio e outros 10% de NO, NO₂. (E₉₉)

De acordo com as produções escritas agrupadas na categoria C1, verifica-se que os estudantes conseguem apresentar exemplos de gases que têm seu efeito prejudicial reduzido ao passarem pelo conversor catalítico.

Modelos e simulações permitem uma melhor visualização e compreensão dos fenômenos investigados. A utilização dessas formas representacionais auxilia no desenvolvimento de explicações de fenômenos científicos e permite ir além do que é observável possibilitando imaginar um mundo ainda não visto (NRC, 2012). Nessa perspectiva e de acordo com as produções escritas elucidadas, infere-se que os estudantes, ao explicitarem os exemplos solicitados pelo enunciado da questão de tema Conversor Catalítico, demonstram

compreender e, conseqüentemente, utilizar o modelo que representa o funcionamento de um conversor catalítico. Nesse sentido, pode-se dizer que esses estudantes apresentam indícios de envolvimento com a PC2 – Desenvolver e utilizar modelos, uma vez que reconhecem os gases que têm seu efeito prejudicial reduzido ao passar pelo conversor catalítico.

E, para apresentarem os exemplos solicitados na questão, além de utilizar corretamente o modelo representacional de um conversor catalítico, os estudantes conseguem identificar o padrão estabelecido entre os gases na entrada e na saída do equipamento, ou seja, reconhecem padrões nas quantidades dos gases mais prejudiciais que entram e saem do conversor catalítico. Nesse sentido, infere-se que que esses estudantes apresentam, também, indícios de envolvimento com a PC4 – Analisar e interpretar dados, pois conseguem interpretar os dados advindos de uma investigação, reconhecendo padrões e obtendo significados, o que permite a comunicação dos resultados (NRC, 2012), para esta questão em específico, os estudantes conseguem exemplificar os gases que têm seu efeito prejudicial reduzido ao passarem pelo conversor catalítico.

Ao responderem/explicarem a questão de tema Conversor Catalítico, os estudantes apresentam duas tendências de respostas.

Assim como E₆, E₈, E₇₂, E₇₉ e E₉₉, outros 15 estudantes utilizam mais de um exemplo de como o conversor catalítico reduz o efeito prejudicial dos gases do escapamento dos veículos, considerando as transformações de 90% dos gases monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO, NO₂) em dióxido de carbono (CO₂) e nitrogênio (N₂), respectivamente (E₅, E₁₄, E₁₉, E₂₁, E₂₂, E₂₉, E₃₉, E₄₂, E₄₅, E₄₆, E₅₄, E₅₅, E₅₉, E₆₈ e E₉₃).

Outros quinze estudantes apresentam apenas um exemplo, em que 12 deles consideram a transformação do monóxido de carbono em dióxido de carbono (E₂₀, E₃₂, E₄₇, E₄₉, E₅₆, E₅₈, E₆₀, E₆₁, E₆₇, E₇₁, E₇₃ e E₈₆), e 3 indicam apenas a transformação dos óxidos de nitrogênio em gás nitrogênio (E₁, E₄₄ e E₅₁), satisfazendo os objetivos de resposta para a questão.

Dentre as produções escritas exemplificadas, verifica-se, ainda, que os estudantes E₆, E₅₁, E₅₆, E₇₂, E₇₉ e E₉₉ mencionam, em suas respostas/explicações, o padrão estabelecido entre as quantidades dos gases na entrada e na saída do equipamento representado.

Diante das produções escritas alocadas na categoria C1, infere-se

que 35 estudantes conseguem explorar o modelo representacional elucidado na questão de tema Conversor Catalítico para analisar e interpretar os dados disponibilizados, ou seja, a utilização e o entendimento do modelo em questão pode ter possibilitado a compreensão do fenômeno investigado e, conseqüentemente, o desenvolvimento de respostas/explicações e, nesse sentido, observa-se indícios de envolvimento destes alunos com as Práticas Científicas PC2 (Desenvolver e utilizar modelos) e PC4 (Analisar e interpretar dados).

Na continuidade, a categoria C2 denota as produções escritas que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão de tema Conversor Catalítico, no que diz respeito aos conhecimentos e Práticas Científicas relacionadas a ela. As respostas/explicações nesta categoria apresentam 4 tendências: Transformação dos gases; Redução do efeito prejudicial dos gases; Influência da água; e, Dissolução dos gases.

Vinte e um estudantes mencionam, em suas produções escritas (E₁₁, E₁₃, E₁₇, E₁₈, E₂₆, E₂₇, E₄₁, E₄₈, E₅₀, E₅₃, E₆₃, E₆₅, E₆₆, E₇₆, E₇₈, E₈₀, E₈₅, E₈₉, E₉₀, E₉₂, E₁₀₀), a ocorrência de uma transformação dos gases no interior do conversor catalítico, entretanto não especificam os gases nem o padrão estabelecido entre suas quantidades relacionadas à entrada e saída no equipamento representado, de acordo com os exemplos a seguir:

Ele transforma gases poluentes em gases menos poluentes. (E₁₃)

Ao passar pelo conversor catalítico os gases sofrem uma mudança nas moléculas e nos seus átomos. (E₁₈)

Ele converte os gases, "quebrando" as moléculas, fazendo com que elas não fiquem tão "fortes"/prejudiciais. (E₂₇)

Esse conversor "transforma" os gases prejudiciais em não prejudiciais. Bom, na verdade ele diminui a quantidade transformando em gases menos prejudiciais. (E₆₅)

O conversor catalítico absorve os gases em sua forma inteira e meio que "quebra" eles até se tornarem outros gases que quando liberados não causam tantos danos, que causariam em seu estado inicial. (E₈₀)

Diante das produções escritas elucidadas, pode-se dizer que as palavras "transforma", "mudança", "converte", "quebra" e suas variações, e o contexto das frases em que elas aparecem referem-se a uma transformação química²². Pelos exemplos, pode-se inferir que os estudantes demonstram compreender que no interior

²² Transformação química: designada também por mudança química ou reação química. Em uma transformação química, a substância apresenta alteração em sua composição, ou seja, é transformada em outra substância quimicamente diferente (Brown et al., 2005).

de um conversor catalítico ocorre a conversão de gases prejudiciais em outros compostos (gases menos prejudiciais), referindo-se à ocorrência de reações químicas, entretanto não apresentam exemplos de como o conversor catalítico reduz o efeito prejudicial dos gases, não demonstrando as transformações, por exemplo, dos gases monóxido de carbono (CO) e/ou óxidos de nitrogênio (NO, NO₂) em dióxido de carbono (CO₂) e/ou nitrogênio (N₂).

Outros 17 estudantes (E₂, E₃, E₄, E₇, E₁₂, E₁₅, E₁₆, E₃₅, E₃₆, E₃₈, E₄₃, E₅₇, E₆₂, E₈₂, E₈₃, E₈₈, E₉₇) limitam suas respostas/explicações à função do conversor catalítico em diminuir o efeito prejudicial dos gases, ou seja, em tornar os gases emitidos pelo escapamento dos veículos menos prejudiciais (poluentes) às pessoas e ao meio ambiente. A seguir, são apresentados alguns exemplos de respostas dadas pelos estudantes:

Serve como um filtro que reduz o efeito prejudicial dos gases. (E₁₅)

O [conversor] catalítico é como se fosse um filtro que é utilizado para filtrar o ar (gases) do escapamento, fazendo o ar não sair "tão poluído" assim. (E₄₃)

Ele deixa os gases mais nocivos em menor concentração e os não tão nocivos ou não nocivos em sua concentração normal. (E₆₂)

O conversor reduz uma parte do gás tornando-o menos prejudicial. (E₈₃)

Por meio destes exemplos, constata-se que os estudantes constroem suas respostas/explicações com base no texto e na ilustração que antecedem o enunciado da questão, mencionando apenas que o conversor catalítico reduz a emissão de gases prejudiciais, sem maiores especificações, informações estas que dão suporte à questão. Alguns estudantes (E₁₅ e E₄₃) associam o fenômeno ocorrido no interior de um conversor catalítico ao processo de filtração, como se este equipamento "retirasse impureza dos gases", assim como ocorre no processo de filtração da água ou de um ar condicionado (retirada de impurezas do ar atmosférico que passa pelo filtro do ar condicionado), não levando em conta que no interior de um conversor catalítico ocorre uma transformação química com os gases mais prejudiciais ao meio ambiente.

Ainda sobre as produções escritas agrupadas na categoria C2, 6 estudantes consideraram, em suas respostas/explicações, a influência da água na diminuição do efeito prejudicial dos gases que passam pelo interior do conversor catalítico (E₂₃, E₃₁, E₃₃, E₇₇, E₈₄ e E₈₇) e, E₉ e E₈₁, explicitaram a ocorrência de uma dissolução gasosa no interior equipamento, propiciando assim, a diminuição do efeito

nocivo dos compostos. A seguir, são apresentados alguns exemplos:

A água que entra nele [no conversor catalítico] e o nitrogênio devem ajudar no efeito da redução. (E₂₃)
Por conta do vapor da água, o conversor separa as moléculas dos gases mais prejudiciais, deixando elas em uma porcentagem menor. (E₈₄)
Esse conversor deve esquentar os gases que entram, fazendo com que se dissolvam e diminuam seu efeito nocivo. (E₉)
O conversor os separa, dissolve a composição química dos gases os tornando menos nocivos. (E₈₁)

Por fim, para a questão de tema Conversor Catalítico, na categoria C3 foram alocadas 9 produções escritas insuficientes para interpretação, consideradas sem sentido ou confusas e que se distanciam dos objetivos de resposta para a questão, como por exemplo:

O conversor catalítico transforma os gases, ou separa eles e acaba jogando um gás menos poluído no ar. (E₂₈)
Monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, pois saem duas vezes. (E₃₇)
Que os gases entram no conversor e logo já sai novamente. (E₉₁)

Ao responder que “o conversor catalítico transforma os gases, ou separa eles”, E₂₈ apresenta uma resposta/explicação confusa, pois sugere a dúvida se no interior do conversor catalítico há a ocorrência de uma transformação química ou separação dos gases. Nesse caso, tem sua produção escrita considerada insuficiente para interpretação, no que diz respeito aos conhecimentos científicos e Práticas Científicas associadas à questão de tema Conversor Catalítico.

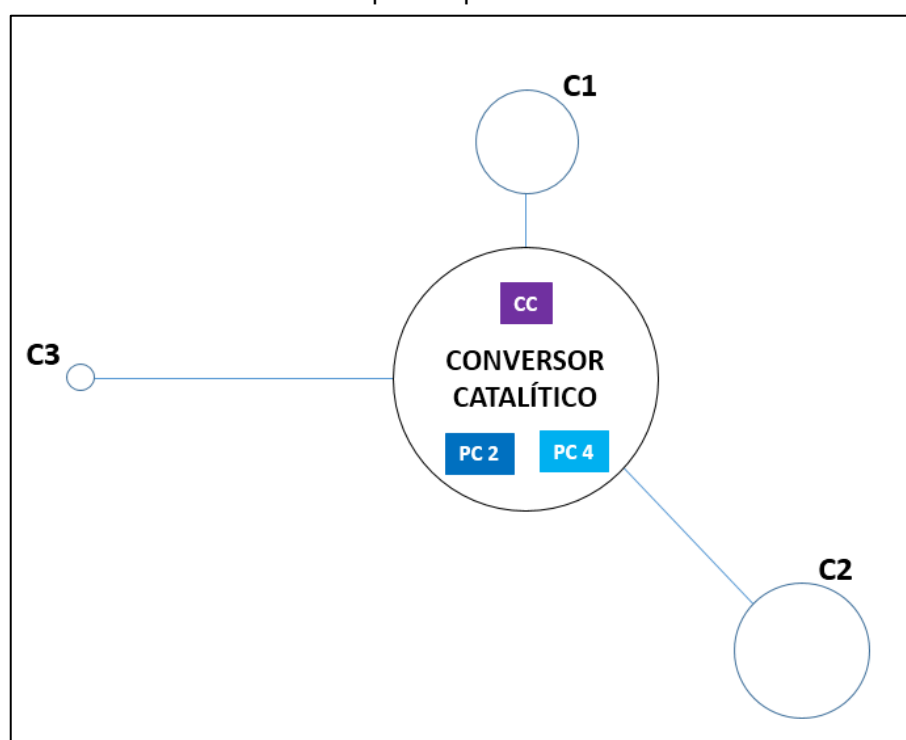
As produções escritas de E₃₇ e E₉₁ também foram consideradas insuficientes para interpretação, pois suas mensagens não possibilitaram maiores inferências relacionadas aos objetivos de resposta para a questão, desencadeando questionamentos, como por exemplo: “Quais são os indícios que levam a afirmar que CO e NO, NO₂ saem duas vezes?” (E₃₇), uma vez que isso não é observado na figura que ilustra um modelo de conversor catalítico; “Que gases são esses que entram no conversor e logo já saem novamente? E o que ocorre com eles?” (E₉₁).

Diante da análise realizada, verifica-se que, assim como nas questões anteriores, as produções escritas dos estudantes para a questão de tema Conversor Catalítico também expressam proximidade ou distanciamento da resposta/explicação esperada, levando em consideração os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas associadas à questão, conforme o esquema apresentado na Figura 4, que

representa a interpretação das produções escritas alocadas nas categorias C1, C2 e C3 desta questão de Ciências do PISA.

Nessa representação, o círculo central denota a questão de tema Conversor Catalítico que está associada a um objetivo de resolução, que contempla conhecimentos científicos (CC) e as Práticas Científicas PC2 (Desenvolver e utilizar modelos) e PC4 (Analisar e interpretar dados). Já os círculos menores interligados ao círculo central correspondem às categorias que abarcam as produções escritas que se aproximaram ou se distanciaram dos objetivos de resposta. O tamanho do círculo maior corresponde à 100% das produções escritas consideradas para análise na questão, totalizando 90; enquanto os círculos menores têm seus tamanhos relacionados à porcentagem de produções escritas alocadas em cada uma das categorias: 38,89% das PE na C1; 51,11% das PE na C2; e, 10,00% das PE na C3.

Figura 4 – Representação da interpretação da produção escrita dos estudantes do Ensino Médio para a questão de tema Conversor Catalítico



Fonte: O próprio autor

Assim, de acordo com os processos de análise e categorização, verifica-se que as 35 produções escritas alocadas na C1 foram aquelas que mais se aproximaram da resposta/explicação esperada para a questão de tema Conversor Catalítico, uma vez que os estudantes demonstraram mobilizar os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas associadas ao objetivo de resposta da questão

para respondê-la/explicá-la corretamente, em específico, interpretar dados disponíveis em um modelo representacional a fim de exemplificar os gases que têm seu efeito prejudicial reduzido no interior de um conversor catalítico.

As 55 produções escritas alocadas nas categorias 2 e 3 não apresentaram exemplos de gases que têm seu efeito prejudicial reduzido ao passarem pelo interior do conversor catalítico, evidenciando dificuldades dos estudantes na utilização de um modelo representacional (PC2) e na análise e interpretação de dados de uma investigação (PC4), ou seja, dificuldade em utilizar as informações da ilustração que representa o modelo de um conversor catalítico a fim de exteriorizar o fenômeno. As produções escritas destes estudantes se distanciaram dos objetivos de resposta/explicação que se relaciona aos conhecimentos científicos e Práticas Científicas associadas à questão de tema Conversor Catalítico.

Assim, diante da análise das produções escritas atinentes à questão de tema Conversor Catalítico, infere-se que a mobilização das Práticas Científicas PC2 (Desenvolver e utilizar modelos) e PC4 (Analisar e interpretar dados) propicia aos estudantes a mobilização, também, dos conhecimentos científicos relacionados aos objetivos de resolução da questão, e vice-versa.

Na próxima seção, apresenta-se algumas discussões a respeito da análise da produção escrita de estudantes do Ensino Médio contemplando as três questões de Ciências do PISA, de temas Milho, Massa de Pão e Conversor Catalítico.

3.4 INTEGRANDO AS ANÁLISES: CONHECIMENTOS E PRÁTICAS CIENTÍFICAS NA PRODUÇÃO ESCRITA DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO

Nesta seção, apresenta-se uma síntese dos resultados relacionados à análise da produção escrita de 101 estudantes da 3ª Série do Ensino Médio em 3 questões de Ciências do PISA que abordam conceitos específicos de Química.

Em suas respostas e explicações (produções escritas), esperava-se que os estudantes mobilizassem conhecimentos relacionados à interpretação de dados e evidências científicas para as questões de tema Milho e Conversor Catalítico, e conhecimentos atinentes à explicação de fenômenos cientificamente para a questão de tema Massa de Pão (BRASIL, 2019; OECD, 2007).

Diante da análise realizada, verificou-se que 58,41% dos 101 estudantes investigados conseguiram responder corretamente a questão fechada de tema Milho, pois assinalaram a alternativa D como resposta. Entretanto, por meio de suas produções escritas (justificativas para a alternativa assinalada) ficou evidente que menos de 16% dos estudantes conseguiram apresentar justificativas que se aproximassem dos objetivos de resposta/explicação para a questão.

O resultado não foi muito diferente para a questão fechada de tema Massa de Pão, que apresentou 59,41% de acertos. Dentre os 101 participantes desta investigação, 60 assinalaram a alternativa correta (alternativa B), porém apenas 40 (39,60% dos estudantes investigados) apresentaram justificativas (produções escritas) que se aproximaram dos objetivos de resposta/explicação para a questão.

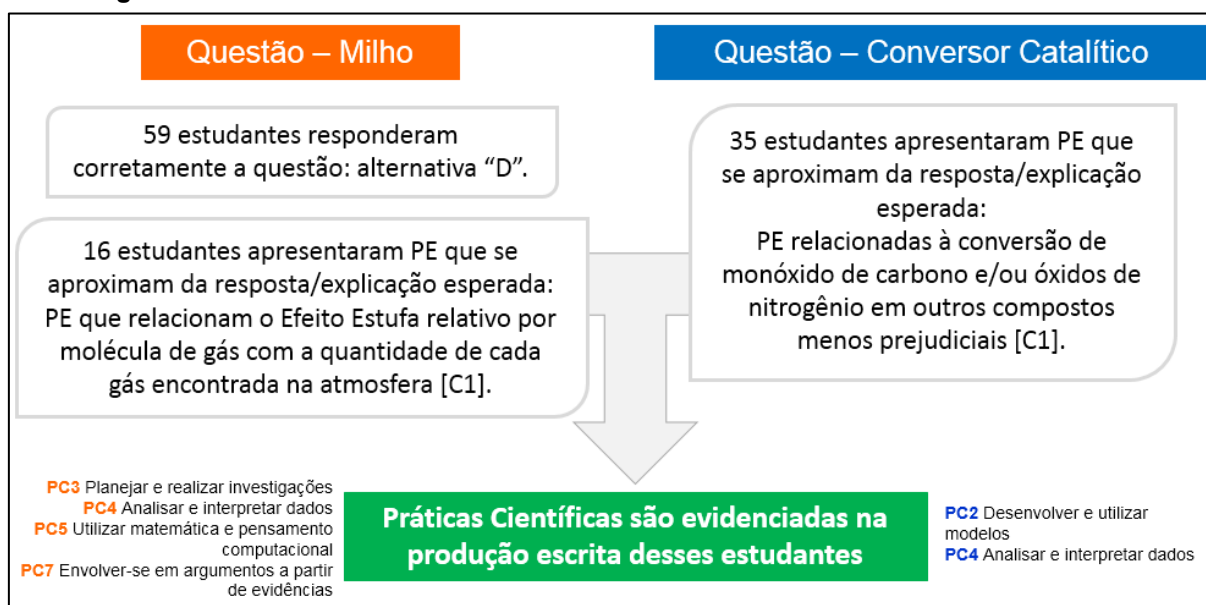
E, para a questão aberta da temática Conversor Catalítico, menos de 35% dos estudantes investigados conseguiram apresentar produções escritas que se aproximaram dos objetivos de resposta/explicação para a questão.

Diante disso, constata-se que a maioria dos estudantes apresentou produções escritas que se distanciaram dos objetivos de resposta/explicação para as questões das temáticas Milho, Massa de Pão e Conversor Catalítico. Em várias produções, principalmente aquelas relacionadas à alternativa de resposta assinalada, observou-se que os estudantes apenas reproduziram informações presentes no suporte, no enunciado e/ou na alternativa assinalada da questão.

Assim como em outras investigações realizadas (RIBAS; BROIETTI, 2020; OLIVEIRA; BATISTA, QUEIROZ, 2010; MORTIMER; CHAGAS; ALVARENGA, 1998), ficou evidente a dificuldade destes alunos em mobilizar uma linguagem científica a fim de comunicar seus conhecimentos para explicar/justificar fenômenos científicos e/ou lidar com as informações do suporte e do enunciado das questões para analisar e interpretar dados e, conseqüentemente, produzirem argumentos e conclusões fundamentados em evidências científicas.

No que diz respeito ao objetivo deste estudo, que consistiu em identificar relações entre os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas manifestadas na produção escrita dos estudantes investigados, considere o esquema apresentado na Figura 5, que denota uma síntese dos resultados obtidos a partir da análise da produção escrita dos 101 estudantes para as questões de Ciências do PISA. O esquema apresenta, especificamente, a comparação da análise da PE em duas questões, de temas Milho e Conversor Catalítico, respectivamente.

Figura 5 – Conhecimentos e Práticas Científicas na PE de estudantes do Ensino Médio



PE: Produções escritas; C1: Categoria 1.

Fonte: O próprio autor

Por meio do esquema, observa-se que as questões de Ciências do PISA apresentam determinados objetivos de resposta/explicação que se relacionam aos conhecimentos científicos específicos²³ e às Práticas Científicas associadas a elas²⁴.

Nesse sentido, considerando o esquema apresentado na Figura 5 para as questões de tema Milho e Conversor Catalítico, respectivamente, e de acordo com os processos de análise das produções escritas elucidados nos itens 3.1, 3.2 e 3.3 desta Tese, pode-se inferir que, ao construírem respostas/explicações que se aproximam dos objetivos das questões, os estudantes demonstram mobilizar os conhecimentos científicos necessários para responder/explicar corretamente a questão, demonstrando também o envolvimento com determinadas Práticas Científicas na elaboração de suas produções escritas, uma vez que demonstram apresentar indícios da realização de investigações por meio da identificação e combinação de dados; conseguem construir explicações científicas; utilizam modelos para analisar e interpretar dados.

²³ Estabelecimento de relações entre o Efeito Estufa relativo por molécula de gás com a quantidade de cada gás encontrada na atmosfera – Questão de tema Milho; Conversão de monóxido de carbono e/ou óxidos de nitrogênio em outros compostos menos prejudiciais – Questão de tema Conversor Catalítico.

²⁴ PC3, PC4, PC5 e PC7 – Questão de tema Milho; PC2 e PC4 – Questão de tema Conversor Catalítico.

De certa forma, os estudantes que tiveram suas produções escritas alocadas na categoria C1 evidenciam, por meio de suas produções escritas: demonstrar entendimento dos significados de termos científicos; interpretar as diferentes formas de representação; e, ao mesmo tempo, se comunicar por meio de uma mistura de palavras, símbolos e utilização da matemática; ou seja, estes estudantes conseguem expressar suas ideias por meio de uma linguagem científica, demonstrando envolvimento com as Práticas Científicas (NRC, 2012), que estão relacionadas a alguns aspectos do Letramento Científico, como processos de investigação e com os conhecimentos de conteúdo, procedimental e epistemológico da Ciência.

Ao considerar o Letramento Científico como um processo, Nora (2017, p. 195) ressalta que ele pode ser alcançado por meio da vivência das Práticas Científicas, uma vez que elas constituem “ações que buscam explicar, modelar e compreender o mundo físico, cada uma com suas especificidades”. Assim, ao se envolverem com as Práticas Científicas na construção de suas produções escritas, pode-se dizer que estes estudantes conseguem mobilizar alguns aspectos do Letramento Científico, como determinados conceitos científicos e alguns processos de investigação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade e a análise da produção escrita têm sido destacadas, há pelo menos duas décadas, em inúmeras pesquisas da área de Educação Matemática como estratégia de avaliação para investigar os processos de ensino e de aprendizagem da Matemática. Estendendo possibilidades de serem realizadas, também, por pesquisadores da área de Ensino de Ciências, o estudo sobre a produção escrita apresentado nesta Tese fez-se pertinente considerando a pouca expressividade de pesquisas sobre o tema nesta área e ao entender que investigações como esta podem proporcionar contribuições para os processos de ensino e de aprendizagem com vistas ao Letramento Científico por meio da inserção da atividade e análise da produção escrita na rotina das aulas de Ciências da Natureza.

Diante disso, nesta Tese foi apresentado um estudo relacionado à análise da produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA que abordam conceitos químicos, com o objetivo de identificar, em geral, conhecimentos científicos e Práticas Científicas manifestadas nas produções desses sujeitos ao responderem as questões.

A pesquisa relacionada à análise da produção escrita dos estudantes em determinadas questões de Ciências do PISA, com foco nos conhecimentos e Práticas Científicas, possibilitou desenvolver, nos primeiros meses de estudo, uma investigação de caráter bibliográfico que teve o objetivo de conhecer, no cenário das pesquisas nacionais em Ensino de Ciências e Matemática, estudos atinentes à atividade e análise da produção escrita. Inicialmente concebida no Capítulo 2 desta Tese, a pesquisa foi publicada no formato de artigo pela Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática (RIBAS; BROIETTI, 2021).

Dentre os resultados, a pesquisa exploratória possibilitou desenvolver uma definição para o termo “produção escrita”, considerando o contexto do estudo realizado com 82 trabalhos acadêmicos (17 Teses e 65 Dissertações), informações sobre o ensino de Ciências da Natureza presentes na BNCC e alguns referenciais relacionados às múltiplas representações. Assim, no âmbito das investigações da área Ensino de Ciências e Matemática, entende-se por produção escrita “toda representação escrita constituída de textos em linguagem natural, desenhos e imagens, esquemas, gráficos, tabelas, registros algébricos e geométricos realizada

por sujeitos ao explicitarem ideias e entendimentos em diversas situações científicas e/ou matemáticas que exijam a realização de produção escrita” (RIBAS; BROIETTI, 2021, p. 371).

A pesquisa exploratória (RIBAS; BROIETTI, 2021) revelou, também, que dentre as 82 produções acadêmicas investigadas, em 25 delas a produção escrita esteve relacionada com questões de Matemática presentes em avaliações educacionais em larga escala, em que nove apresentaram estudos especificamente com questões da prova do PISA. Isso significa que todas as pesquisas inventariadas envolvendo questões presentes em avaliações educacionais em larga escala relacionaram-se às investigações da produção escrita na área da Matemática. Além disso, foi constatado que apenas dois trabalhos acadêmicos, dentre os 82 analisados, pertencem à área da Química, em que nenhum deles apresentou investigações similares ao estudo elucidado nesta Tese.

Nesse sentido, além das contribuições atinentes ao tema produção escrita para área Ensino de Ciências e Matemática, a investigação realizada com os 82 trabalhos acadêmicos possibilitou evidenciar a originalidade do estudo pretendido nesta Tese, uma vez que não foram encontrados indícios da existência de alguma pesquisa de Mestrado e/ou Doutorado envolvendo a análise da produção escrita de sujeitos em questões de Ciências presentes em avaliações educacionais em larga escala, especialmente no que diz respeito à análise da produção escrita de estudantes em questões de Ciências da prova do PISA que abordam conceitos específicos de Química, com foco nos conhecimentos e Práticas Científicas.

Em relação ao foco central desta pesquisa de Doutorado, pautado na problemática “Quais conhecimentos científicos e Práticas Científicas são manifestadas na produção escrita de estudantes do Ensino Médio ao responderem questões de Ciências do PISA? E quais suas relações?”, 10 questões de Ciências da prova internacional em larga escala PISA, que abordam conceitos químicos, foram propostas a 101 estudantes da 3ª Série do Ensino Médio de três instituições públicas localizadas no Município de Londrina. Os materiais analisados e apresentados como resultados consistiram nas produções escritas realizadas pelos estudantes ao explicitarem suas respostas/explicações para as questões pertencentes às temáticas Milho, Massa de Pão e Conversor Catalítico, respectivamente.

Diante da investigação realizada, foi possível identificar indícios da manifestação de conhecimentos e Práticas Científicas nas produções escritas dos

estudantes ao resolverem as questões. Questões estas que contemplam objetivos de resposta/explicação relacionados à determinados conhecimentos científicos e às Práticas Científicas “Descrever e utilizar modelos” (PC2), “Planejar e realizar investigações” (PC3), “Analisar e interpretar dados” (PC4), “Utilizar matemática e pensamento computacional” (PC5), “Construir explicações” (PC6) e “Envolver-se em argumentos a partir de evidências” (PC7).

No processo investigativo, foi constatado que apenas uma parcela dos estudantes conseguiu apresentar, por meio de suas produções escritas, justificativas que se aproximaram dos objetivos de resposta/explicação para cada questão de Ciências do PISA (17,20% para a questão de tema Milho; 43,01% para a questão de tema Massa de Pão; e, 38,89% para a questão de tema Conversor Catalítico). Diante desse resultado, fica evidente que boa parte dos investigados apresentou dificuldade em mobilizar conhecimentos necessários para explicar fenômenos científicos e/ou lidar com as informações do suporte e do enunciado das questões para analisar e interpretar dados e, conseqüentemente, produzir argumentos e conclusões fundamentadas em evidências científicas, uma vez que, ao resolver as questões, esses estudantes apenas reproduziram informações presentes no suporte, no enunciado e/ou na alternativa assinalada, o que evidencia a não mobilização de conhecimentos científicos e o envolvimento com as Práticas Científicas.

Dentre os estudantes que apresentaram justificativas que se aproximaram dos objetivos de resposta/explicação para cada questão, pode-se dizer que foi possível constatar relações entre os conhecimentos científicos e as Práticas Científicas manifestadas na produção escrita desses sujeitos. Ao responderem e/ou explicarem as questões e mobilizarem determinados conhecimentos científicos, os estudantes demonstraram se envolver, também, com as Práticas Científicas relacionadas a elas.

Nesse sentido, pode-se concluir que, ao responder/explicar satisfatoriamente uma questão e mobilizar os conhecimentos científicos necessários para isso, há a mobilização, também, das Práticas Científicas. E, para os estudantes que conseguem relacionar, de certa maneira, conhecimentos e Práticas Científicas ao construir respostas/explicações (produções escritas) que se se aproximam dos objetivos de resposta e/ou explicação associadas as questões de Ciências do PISA, pode-se dizer que eles possuem algumas capacidades e habilidades para utilizar conhecimentos relacionados aos conceitos e processos da Ciência ao resolverem as

questões, uma vez que demonstram apresentar indícios da realização de investigações por meio da identificação e combinação de dados, conseguem construir explicações científicas e utilizam modelos para analisar e interpretar dados.

Em contrapartida, ao construírem respostas/explicações que se distanciam dos objetivos de resposta e/ou explicação para determinada questão, infere-se que os estudantes demonstram não mobilizar e, conseqüentemente, não relacionar os conhecimentos e as Práticas Científicas atinentes a ela.

Diante das constatações provenientes da pesquisa apresentada nesta Tese, reitera-se a necessidade de oportunizar, nas aulas de Ciências da Natureza, estratégias de ensino e de aprendizagem que envolvam a leitura, a escrita, a resolução de problemas, além de discussões sobre as observações, interpretações, explicações, resultados e conclusões de uma série de investigações científicas, para que os estudantes possam apropriar-se da linguagem das Ciências e, conseqüentemente, se envolverem em uma cultura científica, a fim de conseguirem mobilizar esses conhecimentos não somente na escola, mas nas mais variadas esferas de suas vidas.

Espera-se que investigações sobre a atividade e a análise da produção escrita sejam exploradas no ambiente escolar, de modo que os professores de Ciências da Natureza passem a ter olhares diferenciados para a produção escrita de seus alunos a fim de perceberem “como e o que” estão ensinando e “como e o que” o aluno está aprendendo. Além disso, espera-se que o professor incentive a escrita científica para que o indivíduo consiga: formular perguntas científicas; planejar e realizar investigações; analisar e interpretar dados; fazer uso do pensamento matemático; desenvolver e usar modelos; construir explicações; argumentar a partir de evidências; e, obter, avaliar e comunicar a informação científica; ou seja, para que o aluno consiga desenvolver e mobilizar conhecimentos e práticas relacionadas à Ciência em variadas situações de sua vida, seja no âmbito escolar ou fora dele, sendo capaz de tomar decisões, resolver problemas e participar de discussões que exigem a compreensão da Ciência e da tecnologia para a vida em sociedade.

Por fim, tendo em vista o cenário educacional e os limites e possibilidades da análise da produção escrita no ensino das Ciências da Natureza como estratégia de ensino e de aprendizagem, espera-se que as informações aqui evidenciadas possam contribuir para suscitar reflexões na área educacional e inspirar investigações futuras.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Rose Mary Fernandes. **Uma Análise da Produção Escrita de Alunos do Ensino Médio em Questões Abertas de Matemática**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.
- ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. Pesquisa em Educação: buscando rigor e qualidade. **Cadernos de Pesquisa** (Fundação Carlos Chagas), v. 113, p. 51-64, 2001.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BASTOS, Charles Lourenço de. **Representações em Matemática**: Observações para o Ensino e a Aprendizagem em Geometria. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- BARDIN, Lawrence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BERTOLDI, Anderson. Alfabetização Científica *versus* Letramento Científico: um problema de denominação ou uma diferença conceitual? **Revista Brasileira de Educação**, v. 25, p. 1-17, 2020.
- BICA, Mário Sérgio Nunes; ROEHRS, Rafael. A abordagem dos conceitos de substância, mistura e densidade utilizando os fundamentos das múltiplas representações. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 1-13, 2015.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. A pesquisa em Educação Matemática: a prevalência da abordagem qualitativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 2, p. 15-26, 2012.
- BONI, Keila Tatiana; LABURÚ, Carlos Eduardo; FILHO, Paulo Sérgio de Carmargo. A teoria dos campos conceituais e a diversidade representacional: Leituras convergentes para a educação matemática e científica. **Vidya**, v. 38, n. 1, p. 75-90, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- BRASIL. MEC. INEP. DAEB. **Relatório Brasil no PISA 2018**: versão preliminar. Brasília: Inep/MEC, 2019.
- BROIETTI, Fabiele Cristiane Dias; NORA, Paulo dos Santos; COSTA, Sandro Lucas Reis. Dimensions of Science Learning: a study on PISA test questions involving chemistry content. **Acta Scientiae** (ULBRA), v. 21, n. 1, p. 95-115, 2019.
- BROIETTI, Fabiele Cristiane Dias; RIBAS, Jeferson Ferreti; SALAMANCA NETO, Carlos Alberto Rossi; STANZANI, Enio de Lorena. Uma análise das questões que abordam conceitos químicos do caderno de Ciências do PISA. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE AVALIAÇÃO EM EDUCAÇÃO, 3., 2014, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: UNESP, 2014.

BROWN, Theodore; LEMAY JR, Eugene; BURSTEN, Bruce; BURDGE, Julia. **Química a ciência central**. 9. ed. Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2005.

CELESTE, Letícia Barcaro. **A Produção Escrita de Alunos do Ensino Fundamental em Questões de Matemática do PISA**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

CHASSOT, Attico Inacio. Alfabetização Científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, n. 22, p. 89-100, 2003.

COSTA, Sandro Lucas Reis. **Práticas Científicas no Ensino de Ciências: Características, Compreensões e Contextos das Publicações**. 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

CUNHA, Rodrigo Bastos. Alfabetização Científica ou Letramento Científico?: interesses envolvidos nas interpretações da noção de *Scientific Literacy*. **Revista Brasileira de Educação**, v. 22, n. 68, p. 169-186, 2017.

_____. O que significa alfabetização ou letramento para os pesquisadores da Educação Científica e qual o impacto desses conceitos no Ensino de Ciências. **Ciência & Educação**, v. 24, n. 1, p. 27-41, 2018.

DAVEL. Marcos Alede Nunes. Alfabetização Científica ou Letramento Científico? Entre elos e duelos na Educação Científica com enfoque CTS. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 11., 2017. **Anais [...]**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

DEL PINO, José Claudio; FRISON, Marli Dallagnol. Química: Um conhecimento científico para a formação do cidadão. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, p. 36-50, 2011.

DRIVER, Rosalind; ASOKO, Hilary; LEACH, John; MORTIMER, Eduardo; SCOTT, Philip. Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química Nova na Escola**, n. 9, p. 31-40, 1999.

FOUREZ, Gérard. Science teaching and the STL movement: a socio-historical view. *In: JENKINS, Edgar (Ed.). Innovations in science and technology education*. Paris: UNESCO Publishing, 1997. p. 43-57.

GOMES, Vanessa; SANTOS, Amilton Cesar. Perspectivas da Alfabetização e Letramento Científico no Brasil: levantamento bibliométrico e opinião de profissionais da educação do Ensino Fundamental I. **Scientia Plena**, v. 14, n. 5, p. 1-18, 2018.

HENRIQUES, Ana; PONTE, João Pedro da. As Representações como Suporte do Raciocínio Matemático dos Alunos quando Exploram Atividades de Investigação. **Bolema**, v. 28, n. 48, p. 276-298, 2014.

JACOMELLI, Karina Zolia. **A linguagem natural e a linguagem algébrica**: nos livros didáticos e em uma classe de 7ª série do Ensino Fundamental. 2006. 175 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal

de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

KLEIN, Tânia Aparecida da Silva; LABURÚ, Carlos Eduardo. Multimodos de representação e teoria da aprendizagem significativa: possíveis interconexões na construção do conceito de biotecnologia. **Revista Ensaio**, v. 14, n. 2, p. 137-152, 2012.

INEP. Programa da OCDE para Avaliação Internacional de Alunos – PISA. **Itens Liberados de Ciências**. Brasília: Inep/MEC, 2012.

IPEC. **Investigação em educação em ciência e práticas na escola: dinâmicas de interação**. Candidatura. Lisboa: Fundação da Ciência e Tecnologia, 2005-2008.

LABURÚ, Carlos Eduardo; BARROS, Marcelo Alves; SILVA, Osmar Henrique Moura da. Multimodos e múltiplas representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais conciliáveis da educação científica. **Ciência e Educação**, v. 17, n. 2, p. 469-487, 2011.

LACAZ-RUIZ, Rogério. Notas e reflexões sobre redação científica. **Revista de Graduação da Engenharia Química**, v. 1, n. 2, p. 35-44, 1998.

LAUGKSCH, Rüdiger Christian. Scientific Literacy: A Conceptual Overview. **Science Education**, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000.

LEMKE, Jay. **Aprender a hablar ciencia**. Buenos Aires: Paidós, 1997.

LOPEZ, Juliana Maira Soares. **Análise Interpretativa de Questões Não-Rotineiras de Matemática**. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, 2010.

LORENZETTI, Leonir; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização Científica no contexto das séries iniciais. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 1, p. 1-17, 2001.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. 5. ed. São Paulo: EPU, 1986.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma agenda para a pesquisa em educação em ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 36-59, 2002.

MORTIMER, Eduardo Fleury; CHAGAS, Alexander Nilson; ALVARENGA, Vera Tamberi. Linguagem Científica versus Linguagem comum nas respostas escritas de vestibulandos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 3, n. 1, p. 7-19, 1998.

NORA, Paulo dos Santos. **As dimensões da aprendizagem científica em questões do PISA que abordam conteúdos químicos**. 2017. 202 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

NRC – National Research Council. **A Framework for K-12 Science Education:**

Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards, 2012.

_____. **Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits.** Committee on Learning Science in Informal Environments: Washington, D.C. 2009.

_____. **National Science Education Standards.** Washington, DC: National Academy, 1996.

_____. **Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8.** Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Washington, DC: The National Academies, 2007.

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Brasil no PISA 2015: análises e reflexões sobre o desempenho dos estudantes brasileiros.** São Paulo: Fundação Santillana, 2016.

OECD (Paris). **PISA 2006 – Estrutura da Avaliação: Conhecimentos e habilidades em Ciências, Leitura e Matemática.** São Paulo: Editora Moderna, 2007.

OLIVEIRA, Jane Raquel Silva de; BATISTA, Alzir Azevedo; QUEIROZ, Saete Linhares. Escrita científica de alunos de graduação em Química: análise de relatórios de laboratório. **Química Nova**, v. 33, n. 9, p. 1980-1986, 2010.

_____. Modelo de argumentação como ferramenta para análise da qualidade da escrita científica de alunos de graduação em Química. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 7., 2009, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ENPEC, 2009, p. 1-12.

OLIVEIRA, Teresa; FREIRE, Ana; CARVALHO, Carolina; AZEVEDO, Mário; FREIRE, Sofia; BAPTISTA, Mónica. Compreendendo a aprendizagem da linguagem na formação de professores de Ciências. **Educar**, n. 34, p. 19-33, 2009.

PEDROCHI-JUNIOR, Osmar. **Avaliação como Oportunidade de Aprendizagem em Matemática.** 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

PERRENOUD, Philippe; THURLER, Monica Gather; MACEDO, Lino de; MACHADO, Nilson José; Cristina Dias. **As competências para ensinar no século XXI: a formação dos professores e o desafio da Avaliação.** Porto Alegre: Artmed, 2002.

PRAIA, João Felix; CACHAPUZ, António Francisco Carrelhas; GIL-PÉREZ, Daniel. Problema, teoria e observação em ciência: Para uma reorientação epistemológica da Educação em Ciência. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 1, p.127-145, 2002.

PREWITT, Kenneth. Scientific Literacy. **Daedalus: Journal of the American Academy of Arts and Sciences**, v. 112, n. 2, p. 49-64, 1983.

RIBAS, Jeferson Ferreti; BROIETTI, Fabiele Cristiane Dias. Contribuições das pesquisas em Ensino de Ciências e Matemática atinentes à produção escrita. **Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática**, v. 5, n. 2, p. 344-

380, 2021.

_____. Produção escrita de estudantes do Ensino Médio em uma questão de Ciências do PISA de tema Conversor Catalítico. **Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química**, v. 3, n. 1, p. 1-22, 2022.

_____. Um estudo da produção escrita de estudantes do Ensino Médio em questões de Ciências do PISA. **Amazônia – Rev. de Educ. em Ciências e Matemática**, v. 16, n. 36, p. 144-162, 2020.

SANTOS, Edilaine Regina dos. **Análise da Produção Escrita em Matemática: de Estratégia de Avaliação a Estratégia de Ensino**. 2014. 157 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, v. 12, n. 36, p. 474-492 e p. 549-550, 2007.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de Ciências. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2001.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

_____. Almejando a Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SHEN, Benjamin Shih Ping. Science Literacy. **American Scientist**, v. 63, n. 3, p. 265-268, 1975.

SILVA, Marcia Cristina Nagy. **Do Observável para o Oculto: Um Estudo da Produção Escrita de Alunos da 4ª. Série em Questões de Matemática**. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

SOARES, Magda. **Alfabetização e Letramento**. 7. ed. 1. reimp. São Paulo: Contexto, 2017a.

_____. **Letramento: um tema em três gêneros**. 3. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2017b.

TENREIRO VIEIRA, Celina; VIEIRA, Rui Marques. Literacia e pensamento crítico: um referencial para a educação em Ciências e em Matemática. **Revista Brasileira de Educação**, v. 18, n. 52, p. 163-188 e p. 241-242, 2013.

VILLANI, Carlos Eduardo Porto; NASCIMENTO, Silvania Sousa do. A argumentação e o Ensino de Ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 3, p. 187-209, 2003.

WARTHA, Edson José; REZENDE, Daisy de Brito. As representações no ensino de química na perspectiva da semiótica peirceana. **Educação Química em Punto de Vista**, v. 1, n. 1, p. 181-202, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Produções escritas dos estudantes para a questão de tema Milho

Codificação	Resposta assinalada	Produções escritas
E ₁	D	Pois com a quantidade de cada gás dá para saber sobre o aumento do efeito estufa.
E ₂	B	Sabendo dessas informações teria um resultado melhor.
E ₃	B	Sabendo qual dos 4 as plantas absorvem, saberá que o que menos absorve é o causador.
E ₄	D	Karina sabe os gases e seu efeito, mas não sabe a quantidade presente na atmosfera.
E ₅	B	Porque o Ferwerda afirma que as plantas absorvem e convertem em oxigênio.
E ₆	D	Ele deve comparar valores antigos com valores atuais para saber como o aumento de determinado gás realmente prejudica a camada.
E ₇	D	Pois com a quantidade podemos analisar, que com a quantidade podemos tentar diminuir e também evitar o predomínio de gás estufa na atmosfera.
E ₈	D	Pois depende do tanto de gás que há na atmosfera para ele fazer algum dano, pois se não houver mais desse gás, não tem como ele prejudicar a atmosfera.
E ₉	D	A quantidade de cada gás pode mudar o seu peso em relação ao aumento do efeito estufa.
E ₁₀	A	Para provar que sua experiência seja válida, ele precisa provar que não afeta a planta tão mal quanto às outras moléculas de gás. Se descobrir a origem dos gases, amenizar ou acabar com eles.
E ₁₁	B	Pois as plantas, como nós também, respiram e assim elas liberam o gás tóxico na atmosfera.
E ₁₂	C	Pois precisa saber o tamanho, pois pode mudar o resultado.
E ₁₃	D	É preciso saber a quantidade para saber a causa principal do aumento do efeito estufa.
E ₁₄	D	Pois dependendo da quantidade, o resultado pode ser diferente.
E ₁₅	D	Pois dependendo da quantidade, os efeitos são diferentes.
E ₁₆	D	Pois se não tiver os dados corretos sobre a quantidade, não terá como descobrir a causa principal.
E ₁₇	D	Os dados da quantidade de molécula na atmosfera são essenciais para esse estudo, pois pode ser que certa molécula é bem mais prejudicial do que outras, porém de que adianta uma molécula do 4º elemento da tabela, para milhões de gás carbônico.
E ₁₈	B	Se ele descobrir como os gases se absorvem, eles vão descobrir como acontece o efeito estufa.
E ₁₉	C	Porque os 4 são do mesmo tamanho.
E ₂₀	B	Sabendo a absorção dos gases nas plantas, podemos entender qual absorve mais rápido, qual elimina mais rápido e etc.
E ₂₁	D	Pois se ela saber a quantidade, ela iria saber qual dos gases é a causa principal do aumento do efeito estufa.
E ₂₂	D	Ela precisa coletar dados sobre as quantidades de cada um dos gases para ter uma noção do quanto cada um vai afetar e em que quantidade.
E ₂₃	B	Cada gás teria um efeito sobre as plantas, e um deles poderia ter esse efeito de absorção mais rapidamente.
E ₂₄	C	Dependendo do tamanho de sua molécula, o gás não é a principal causa do efeito estufa, pois pode conter muito, porém com sua molécula pequena não causa tanto impacto do que uma molécula grande, mas em pouca quantidade.
E ₂₅		
E ₂₆		

E ₂₇		
E ₂₈	A	Karina precisa encontrar a origem, porque ela conseguiria dizer qual origem é mais prejudicial para a planta; é como uma usina, caso uma usina produza e jogue no ar o clorofluorcarboneto, ela jogará isso no ar em grande escala.
E ₂₉	C	Porque os quatro são do mesmo tamanho.
E ₃₀	B e D	Dados sobre as quantidades de cada gás na atmosfera, pois o excesso desses gases que faz com que se torne prejudicial ao meio ambiente.
E ₃₁		
E ₃₂	D	Por exemplo, o efeito relativo encontrado no gás carbônico é relativamente pequeno, porém há muito desse gás e por mais que o do clorofluorcarboneto seja alto, pode haver pouco dele.
E ₃₃	A	Pois sem a origem, não há como descobrir.
E ₃₄	D	Pois, a tabela mostra o efeito por cada molécula de gás. Com a quantidade de cada gás na atmosfera podemos ver qual é o causador do efeito estufa de acordo com o que tiver mais (impacto) na Terra, mais quantidade de calor transmitido.
E ₃₅	D	Combinando a abrangência dos gases poluentes presentes na atmosfera com os dados da tabela, Karina conseguirá responder qual é o principal causador do efeito estufa, já que o número correspondente ao grau do "estrago" causado por cada gás seria multiplicado pela sua quantidade.
E ₃₆	A	Ela precisa saber exatamente de onde os gases estão vindo, tem que saber qual é a sua fonte, sua origem, pois assim facilitaria para saber qual gás é a principal causa do efeito estufa.
E ₃₇	B	Precisa-se saber a temperatura média.
E ₃₈	D	Pois o gás que mais se encontra na atmosfera (que agride) é o de maior número.
E ₃₉	D	Pois para Karina saber qual gás é o maior causador do efeito estufa, ela precisa saber sua quantidade na atmosfera.
E ₄₀	B	Para ela determinar qual gás foi mais efetivo é necessário analisar os gases que tem no ar e ver o quanto a planta pegou para ter certeza de qual gás foi o mais eficiente.
E ₄₁	D	Mesmo que os outros gases causem um efeito estufa maior, não sabe <u>o quanto deles é presente</u> . Já o gás carbônico, que se é estudado mais profundamente e é considerado a principal pois seu uso excessivo ao longo das décadas fez com que houvessem alterações em nosso meio ambiente (grifo do estudante).
E ₄₂	A, B e D	Karina precisa analisar a presença de cada gás na atmosfera, uma quantidade excessiva representaria um grande problema. Além disso, seria interessante se ela conseguisse a origem de tais gases, e comparasse com a decomposição da camada de ozônio/efeito estufa, tendo assim uma conclusão de qual gás, a partir de sua produção em massa, é mais prejudicial. Por fim, a importância do gás para a Terra, sua absorção, etc. É importante entender que nem tudo é prejudicial se estiver em equilíbrio com a sua demanda.
E ₄₃	A	Porque ela precisa dos dados de origem dos gases para ajudar na sua pesquisa.
E ₄₄	D	O efeito estufa é um fenômeno que decorre da permanência de substâncias na atmosfera, que elevam a temperatura do planeta. Tal fenômeno é diretamente proporcional a quantidade de substâncias agravantes presentes na atmosfera. Logo é necessário o levantamento de dados sobre a quantidade dos gases da tabela presentes na atmosfera.
E ₄₅	B	Plantas absorvem gases transformando-os em oxigênio, se a planta não absorver os determinados gases então estará em maior quantidade na atmosfera.
E ₄₆	B	Absorção, pois assim é possível perceber qual dos gases são menos absorvidos.

E ₄₇	D	Talvez o gás carbônico não seja o principal causador do efeito estufa, entretanto é preciso verificar a quantidade dos outros gases na atmosfera e avaliar qual causa mais danos a esta.
E ₄₈	B	Pois são as plantas que produzem oxigênio, mas elas precisam absorver esses gases para poder transformar em oxigênio; então precisaria saber o quanto elas absorvem para saber qual gás é o principal aumento do efeito estufa.
E ₄₉	D	Mesmo que certa molécula de gás, sozinha, expresse pouco o efeito estufa, ela, em maiores quantidades, podem se tornar um problema para a atmosfera.
E ₅₀	D	Uma maior quantidade não necessariamente é mais nociva. Um gás de menor quantidade, mas que seja pior, pode causar um maior impacto.
E ₅₁	D	Karina precisa de dados sobre as quantidades de cada um dos gases para poder determinar a causa do aumento do efeito estufa.
E ₅₂	D	Por que o principal do aumento do efeito estufa são as quantidade de gases encontrada na esfera, são gás carbônico, metano, clorofluorcarboneto.
E ₅₃	A	Porque, sabe-se que o gás carbônico vem da fumaça ou quando nós expiramos, já os outros três gases não sei a sua origem.
E ₅₄	D	Se por exemplo são encontradas uma molécula de metano a cada X metros e 31 moléculas de gás carbônico na mesma proporção, o segundo gás terá maior emissão.
E ₅₅	D	Porque com os dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontrados, pode-se ter uma noção de quais gases são os mais prejudiciais para a atmosfera.
E ₅₆	D	É necessário saber as quantidades para determinar o grau de influência de cada um dos gases na atmosfera e, assim, determinar o principal.
E ₅₇	D	Deve saber o efeito de cada gás na atmosfera pois cada um causa um efeito na atmosfera.
E ₅₈	D	Tudo depende da quantidade. O metano, por exemplo, se colocar uma grande quantidade de oxigênio e baixa quantidade de metano, não terá influência alguma do metano.
E ₅₉	B e D	A maior absorção dos gases pelas plantas diminuirá sua concentração na atmosfera.
E ₆₀	D	Pois, se uma substância tiver maior quantidade que outra, pode-se ser que tenha alteração nos dados.
E ₆₁	D	Ela precisa das quantidades encontradas para completar sua pesquisa.
E ₆₂	D	Se Karina descobrir a quantidade que cada gás que é encontrada na atmosfera, logo se consegue deduzir qual é o principal.
E ₆₃	D	Porque quanto maior a quantidade liberada desses gases, maior é a influência deles no efeito estufa.
E ₆₄	B	Uma planta pode absorver melhor um gás do que outro, se um gás X libera mais que o gás Y, mas as plantas conseguem absorver melhor o gás X, terá mais de gás Y pelo ar.
E ₆₅	D	Bom, a origem não é 100% certa, pois algo que produza gás carbônico pode produzir mais do que algo que produz clorofluorcarboneto. Se coletarem dados da própria atmosfera, podem dizer qual é mais poluente, pois saberiam qual teria mais na atmosfera.
E ₆₆	D	Se Karina souber a quantidade de cada um dos gases encontrados na atmosfera, ela saberá qual é o mais prejudicial e também o mais produzido.
E ₆₇	D	Porque dependendo da quantidade de gás na atmosfera, ela saberá se é prejudicial ou não e se causa o efeito estufa.
E ₆₈	A	Sabendo a origem dos gases podemos ajudar a prevenir e assim evitar esse aumento do efeito estufa.
E ₆₉	A	Para saber exatamente o que cada um pode causar.
E ₇₀		
E ₇₁	D	É necessário mais dados sobre a quantidade de gás tóxico na atmosfera, podendo assim saber qual elemento é o mais prejudicial na atmosfera.

E ₇₂	A	Se Karina realizar uma pesquisa sobre a origem dos 4 gases, ela saberá a influência que eles podem ter em cima do efeito estufa, e com os dados coletados na pesquisa, saber qual é a causa principal do aumento do efeito estufa.
E ₇₃	D	Ela precisa saber qual está em maior quantidade para afirmar qual dos 4 é o principal causador.
E ₇₄	D	É que o gás aumenta o efeito estufa e com isso é o aumento da temperatura da atmosfera da Terra.
E ₇₅	D	Para saber qual dos gases é responsável pelo aumento do efeito estufa é preciso saber qual é a quantidade de cada um.
E ₇₆	D	A maior quantidade de gás irá informar o "culpado" pelo efeito estufa.
E ₇₇	B e D	
E ₇₈	A	Porque ambos são gases altamente poluentes.
E ₇₉	D	Quanto maior a quantidade de um determinado gás na atmosfera, menor foi a absorção dele feita pelas plantas, tudo em grande escala pode ser ruim.
E ₈₀	D	Fiquei entre a B e a D, já que é importante saber a quantidade desses gases na atmosfera, para poder medir qual o grau de influência deles sobre o efeito estufa, mas a B seria importante verificar também, visto que as plantas são nossa base da cadeia alimentar, ou seja, elas nos sustentam, sendo assim importante para vermos se está tendo danos a elas.
E ₈₁	A	Dados sobre a origem dos quatro gases, pois se a planta absorve o gás e libera oxigênio, mantendo um equilíbrio e o efeito estufa continua aumentar, então existem outros gases ruins.
E ₈₂	D	Eu acho que quanto mais moléculas, mais é a causa no efeito estufa, mais ele prejudica.
E ₈₃	D	Ela precisa saber a quantidade desses gases na atmosfera e ao multiplicar o número da tabela com a quantidade, a molécula que obtiver o maior resultado será a principal responsável pelo efeito estufa.
E ₈₄	D	Precisa saber a quantidade de cada um dos gases na atmosfera para saber qual é o que mais causa o efeito estufa.
E ₈₅	B	Se ela coletar dados sobre a absorção dos gases pelas plantas, então ela pode ver qual é mais absorvido e transformado em oxigênio para nós, e ver qual realmente é o maior causador do efeito estufa.
E ₈₆	D	Se Karina obter dados sobre as quantidades de cada um dos gases encontrados na atmosfera, ela pode determinar qual deles é a causa principal do aumento do efeito estufa.
E ₈₇	D	Para ela descobrir qual gás prejudica mais a atmosfera, ela tem que saber qual está mais em alta sobre uma escala, de acordo com isso, se coletar todos os dados necessários, ela saberá deduzir qual gás é maligno para atmosfera, meio ambiente, em si a vida da Terra.
E ₈₈	D	Se o tema é saber sobre o que causa o efeito estufa, não há maneira melhor do que encontrar a quantidade de cada um na atmosfera.
E ₈₉	D	Precisamos saber qual é produzido em maior escala para identificarmos qual danifica mais a camada de ozônio.
E ₉₀	A, B, C e D	Todos foi para estudar um aumento tão complexo, o que exige um estudo desde a origem do gás até qual a quantidade de cada um deles na atmosfera, pois apenas uma fonte não é suficiente, é necessário encontrar a raiz do problema e também a causa.
E ₉₁	C	Ela já tem gás carbônico, metano, óxido nitroso, clorofluorcarboneto e agora ela precisa das moléculas.
E ₉₂	D	O gás que mais tiver na atmosfera é o problema.
E ₉₃	D	A quantidade de um gás na atmosfera que vai determinar qual causa mais efeito estufa. Será calculada a emissão de gás por m ² .
E ₉₄	D	Teria que pesquisar todos os gases, senão não saberia a causa principal do efeito estufa.
E ₉₅	D	Não adianta um clorofluorcarboneto causar tanto assim sendo que quase não tem dele na Terra. Ela deve pesquisar sobre o quanto tem de cada.

E ₉₆	D	Dados sobre a quantidade de cada um dos gases encontrados na atmosfera. Porque sabendo dessa quantia é mais "fácil" tirar dados concretos de qual gás é a causa principal.
E ₉₇		
E ₉₈	D	Ela tem que saber qual é a quantidade maior na atmosfera.
E ₉₉	D	Ela precisa dos dados da tabela mais os dados da quantidade de cada um dos gases encontrados para calcular o quão prejudicial é para as pessoas.
E ₁₀₀	D	Ela precisa comparar os gases e assim saber qual causa mais danos na camada de ozônio e no meio ambiente.
E ₁₀₁		

APÊNDICE B

Produções escritas dos estudantes para a questão de tema Massa de Pão

Codificação	Resposta assinalada	Produções escritas
E ₁	B	Ao aumentar a temperatura, as moléculas começam a ficar mais agitadas, assim o gás e os vapores se expandem.
E ₂	B	Por conta do calor e das reações elas se movimentam mais rápido.
E ₃	B	Suas moléculas se movimentam mais rápido porque o gás que se solta do fermento, se solta.
E ₄	B	As moléculas quando exerce alguma energia sobre elas, se movimentam rapidamente, assim se expandindo.
E ₅	D	Pois quando as moléculas se colidem, os gases e os vapores vão se expandir para que parem de se colidir.
E ₆	B	Com maior temperatura, maior o número de colisões e de vibrações da molécula.
E ₇	B	Suas moléculas começam a se movimentar rapidamente podendo ter atrito e o aumento da temperatura.
E ₈	B	Pois quando se aquece, há um aumento de energia.
E ₉	B	Quando as moléculas se agitam, elas começam a se soltar e sair através da evaporação.
E ₁₀	B	Quando aquecidas, as moléculas se movimentam mais rapidamente.
E ₁₁	B	Ocorre a dilatação, pois as moléculas ficam mais energizadas e assim "correm" mais.
E ₁₂	B	Com mais calor, fica com mais energia e com isso se movimentam mais rápido.
E ₁₃	A	Por causa do fermento suas moléculas ficam maiores.
E ₁₄	A	Pois a massa aquece e o fermento fica maior.
E ₁₅	B	O calor faz com que elas fiquem "agitadas".
E ₁₆	B	Porque se misturam quando colocados no forno.
E ₁₇	B	Quanto mais alta a temperatura, mais o gás fica agitado, saindo da massa do pão.
E ₁₈	C	O número de moléculas aumenta por causa da fermentação.
E ₁₉	B	Porque as moléculas se aquecem e se movimentam.
E ₂₀	B	Por conta do calor, assim como na questão 1.
E ₂₁	A	As moléculas assim que colocadas ao forno, aquecem e ficam maiores, assim, fazendo o pão crescer.
E ₂₂	B	Suas moléculas se movimentam mais rapidamente por conta das bolsas de gás e vapor, se expandindo.
E ₂₃	A	Elas se unem, né? Deve ser isso.
E ₂₄	B	Com o aumento da velocidade das moléculas, elas aumentam também a sua temperatura e se expandem.
E ₂₅		
E ₂₆		
E ₂₇	B	Quanto maior a temperatura mais rápido as moléculas vão se movimentar.
E ₂₈	B	Com suas moléculas se movimentando rapidamente, elas se expandem, assim deixando o pão maior.
E ₂₉		
E ₃₀		
E ₃₁	B	As moléculas se movimentam mais rápido por conta das bolsas de gás e pelo vapor, as moléculas se repelem fazendo com que se movam mais rápido.

E ₃₂	B	A temperatura influencia, quando a mesma está elevada as moléculas se movimentam com mais rapidez.
E ₃₃	A	Pois com o fermento faz com que ele cresça.
E ₃₄	B	Com o aumento do calor, as moléculas se colidem mais rápido. Com isso, facilita o aumento do pão (com a ajuda do fermento).
E ₃₅	B	Porque quando aquecemos um gás ele expande, devido a agitação de suas moléculas.
E ₃₆	A	O fermento faz com que as moléculas aumentem.
E ₃₇	A	A temperatura faz com que ela aumente.
E ₃₈	C	O fermento criando carbono.
E ₃₉	C	A expansão ocorrida no pão fermentado dentro do forno é causada pelo maior número de moléculas.
E ₄₀	A	Pois na sua composição entra gás carbônico, por isso sua massa se expande.
E ₄₁	B	Por serem moléculas de gás, com o aumento da temperatura elas tendem a se movimentar mais rapidamente.
E ₄₂	B	O calor é o grau de agitação das moléculas - quando recebem energia, as moléculas tendem a se distanciar devido ao alto nível de colisão, expandindo-se assim. Para que haja menor frequência de colisão, buscam ocupar um espaço maior.
E ₄₃	B	Porque as moléculas se movimentam, por isso que se expandem.
E ₄₄	B	Fornecer calor a uma molécula, ela se agita com maior intensidade, necessitando de mais espaço para se mover, por isso se expande.
E ₄₅	A	Pois ao ficarem maiores, sua quantidade de massa não suportará os gases, assim, liberando-os.
E ₄₆	A	Conseqüentemente com o aumento da massa, suas moléculas também aumentam.
E ₄₇	B	Pois o aquecimento desestabiliza o movimento das moléculas, fazendo elas se moverem mais rapidamente.
E ₄₈	B	Suas moléculas se movimentam mais rápido para a massa conseguir assar mais rápido.
E ₄₉	B	Ao aquecer um gás, há um aumento de sua entropia, que consiste no seu grau de desordem, causando um aumento de seu volume.
E ₅₀	B	O calor gera mais energia para que essas moléculas se movimentem.
E ₅₁	B	O fogo (calor) faz as moléculas se movimentarem mais rápido e isso ocasiona a expansão dos gases quando são aquecidos.
E ₅₂	B	Porque quando o gás e os vapores expandem suas moléculas, se movimenta mais rápido, pois o pão fermentado é colocado no forno para assar bolsa de gás e o vapor se expandem na massa.
E ₅₃	A	Porque o fermento depois de transformar o amido e o açúcar sua tendência é crescer.
E ₅₄	C	Quando aquecido, o gás se quebra em várias outras moléculas.
E ₅₅	B	Porque quando essas moléculas são aquecidas ficam mais soltas e se movimentam mais rapidamente.
E ₅₆	B	Com o movimento maior das moléculas, ocorre o processo de fermentação, o que possibilita maior expansão e formação dos componentes no esperado.
E ₅₇	B	
E ₅₈	B	Ao aquecer um gás há um aumento no grau de agitação das moléculas, ocorrendo a expansão.
E ₅₉	B	O gás e os vapores se expandem quando aquecidos, pois a elevação da temperatura aumenta a agitação das moléculas do gás, que colidem com maior frequência. Assim se expandem.
E ₆₀	B	Pois quanto mais aquecido uma substância, mais elas irão se movimentar.

E ₆₁	B	A temperatura do forno influencia no comportamento das moléculas, fazendo-as se moverem mais rapidamente, assim, gerando expansão da massa.
E ₆₂	D	Quando se aquece o pão fermentado, se é liberado CO ₂ em forma de gás, onde que por si só, gases tem suas moléculas mais soltas e menos juntas do que o sólido ou o líquido, possibilitando com que elas se libertem e possam ir para a atmosfera.
E ₆₃	C	Acredito que o número de moléculas aumenta e sendo assim, aumentando junto o resto da mistura, sendo proporcional, se uma coisa cresce, o resto também crescerá.
E ₆₄	B	O calor causa reação de acelerar as moléculas.
E ₆₅	B	O calor gera um aquecimento que faz as moléculas se movimentarem mais rápido.
E ₆₆	A	O calor emitido pelo forno faz as moléculas aumentarem de tamanho.
E ₆₇	B	Com o aquecimento, o fogo faz com que se movimente mais rápido, igual uma panela cozinha quando sua tampa é fechada.
E ₆₈	C	O número de moléculas aumenta, assim fazendo o pão crescer.
E ₆₉	B	As moléculas vão ficando sem espaço para se movimentar e acaba soltando o gás e o vapor.
E ₇₀		
E ₇₁	C	Com a grande quantidade de calor agindo sobre o gás e o vapor, as moléculas se multiplicam causando sua expansão.
E ₇₂	A	Porque o calor fornecido pelo fogo faz com que as moléculas fiquem maiores, expandindo o gás e o vapor.
E ₇₃	B	O calor faz elas se moverem mais rápido, tendo então uma reação.
E ₇₄	B	Quanto mais fermentado que o pão estiver, mais as suas moléculas se movimentam, e acaba crescendo de uma forma muito rápida.
E ₇₅	C	Acho que quando aquecidas as moléculas aumentam.
E ₇₆	B	Bom, é igual quando aquecemos uma barra de metal, as suas moléculas se movimentam bem mais rápido, fazendo com que se "expanda".
E ₇₇	B	Porque quando esquenta o pão em um lugar, forno ou forno elétrico, fica quente e aumenta a pressão. Quando "tá" em uma festa ficamos agitados igual as moléculas delas.
E ₇₈	B	Com o movimento rápido as moléculas se colidem ao ponto de crescerem rápido.
E ₇₉	C	A quantidade de moléculas aumenta, expandindo a massa, pois vão se formando novas moléculas.
E ₈₀	B	Quando utilizamos o calor, é como se acelerássemos o processo, fazendo com que as moléculas se movimentem mais rápido, gerando colisão, ou seja, criando uma reação, que é conseqüentemente a causa da emissão desses gases.
E ₈₁	B	O calor não faz com que fiquem maiores e sim se movimentem.
E ₈₂	A	O calor deve afetar as moléculas fazendo com que elas fiquem maiores, assim o pão cresce.
E ₈₃	B	As moléculas quando aquecidas se movimentam mais rápidas devido ao aumento da temperatura, o que aumenta o número de colisões.
E ₈₄	B	As moléculas do fermento ficam mais rápidas, pois quando se coloca calor nas moléculas, elas tendem a se movimentar mais.
E ₈₅	B	O calor faz com que as moléculas se movimentem mais rapidamente, fazendo a massa expandir.
E ₈₆	C	O forno é um "recipiente fechado", e o gás e vapor são formados quando o forno aquece, e essas moléculas ficam acumuladas no forno fechado, então quando mais tempo o forno estiver ligado maior o nº de moléculas.
E ₈₇	C	O aquecimento relaxa as moléculas fazendo com que expande elas.
E ₈₈	C	Por conta da temperatura pode acabar aumentando a quantidade de moléculas.

E ₈₉	B	As moléculas se movimentam mais rapidamente expandindo e necessitando de mais espaço.
E ₉₀	B	Com o aumento da temperatura, as moléculas aumentam seu movimento causando atrito e distanciamento entre elas se expandindo no ambiente.
E ₉₁	C	É por causa da temperatura do forno.
E ₉₂	B	Com a expansão da massa, as moléculas se movimentam.
E ₉₃	B	Pelo simples fato que as moléculas, quando são expostas ao calor, elas começam ficar agitadas, começa uma ficar mais separada uma da outra, assim fazendo a massa se expandir.
E ₉₄	B	Há um processo crescimento do pão e como aquecido haverá um movimento mais rápido.
E ₉₅	A	As moléculas ficam maiores por causa da combustão do calor quando em contato com o gás e os vapores.
E ₉₆	A	As moléculas ficam maiores e consequentemente fazem com que o pão cresça.
E ₉₇		
E ₉₈	A	Por causa do calor que fica quando é colocado para assar.
E ₉₉	B	O calor faz com que as moléculas se movimentam mais e até aumentam.
E ₁₀₀	C	Combinando o fermento com a temperatura o número de moléculas aumenta.
E ₁₀₁		

APÊNDICE C

Produções escritas dos estudantes para a questão de tema Conversor Catalítico

Codificação	Produções Escritas
E ₁	No óxido de nitrogênio (NO, NO ₂) usou o conversor catalítico para se decompor em dois gases diferentes, óxidos de nitrogênio [NO, NO ₂ (10%)] e nitrogênio N ₂ (90%), e isso fez com que reduzisse os gases prejudiciais.
E ₂	O conversor catalítico separa as moléculas.
E ₃	O conversor "separa" os gases (as moléculas) fazendo assim a redução dos efeitos.
E ₄	O conversor catalítico, contém um filtro presente em seu interior, assim filtrando os gases.
E ₅	Porque o conversor catalítico transforma o monóxido de carbono em dióxido de carbono (90%), o que é menos nocivo; e transforma o óxido de nitrogênio em nitrogênio (90%), que é menos nocivo.
E ₆	Ele reduz em 90% a emissão de gases poluentes, transforma o monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono (CO ₂) e os óxidos de nitrogênio em nitrogênio.
E ₇	O conversor catalítico assim faz com que diminua o efeito de poluição no meio ambiente, se tirando o conversor os auto começam a poluir tudo de novo.
E ₈	O conversor catalítico separa as moléculas prejudiciais transformando-as em outras moléculas, como podemos perceber no monóxido de carbono e no óxido de nitrogênio.
E ₉	Esse conversor deve esquentar os gases que entram, fazendo com que se dissolvam e diminuam seu efeito nocivo.
E ₁₀	O conversor catalítico funciona como uma máquina do tempo, as moléculas que entram retornam ao seu estado natural.
E ₁₁	Tem um filtro, e com isso, átomos e moléculas são divididos, assim formando "novos" gases.
E ₁₂	Reduz pois os gases quando saem passam em um calor.
E ₁₃	Ele transforma gases poluentes em gases menos poluentes.
E ₁₄	Pois o monóxido de carbono se divide em monóxido e dióxido, e diminuindo o efeito. E nos óxidos de nitrogênio acontece o mesmo, eles se dividem em óxidos de nitrogênio e nitrogênio.
E ₁₅	Serve como um filtro que reduz o efeito prejudicial dos gases.
E ₁₆	Ele faz com que os gases emitidos se tornem menos prejudiciais, pois a maioria prejudica o meio ambiente.
E ₁₇	Ele quebra as moléculas. Podemos ver que as moléculas prejudiciais, não saem inteiras do conversor, muitas são divididas, ou até reorganizadas.
E ₁₈	Ao passar pelo conversor catalítico os gases sofrem uma mudança nas moléculas e nos seus átomos.
E ₁₉	Porque o dióxido de carbono (CO ₂), vem junto com o monóxido de carbono; e o óxido de nitrogênio, vem com o nitrogênio. Isso faz com que os gases "prejudiciais" reduzem.
E ₂₀	Os gases se dividem em dois. Ex.: monóxido de carbono, CO (10%); dióxido de carbono, CO ₂ (90%).
E ₂₁	Ele diminui o monóxido de carbono, reduzindo para 10%, e a maioria vira dióxido de carbono, 90%; Também acontece com o óxido de nitrogênio que se reduz a 10% e nitrogênio fica 90%.
E ₂₂	O conversor catalítico reduz o efeito transformando os gases que prejudicam, como o monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO, NO ₂).
E ₂₃	A água que entra nele e o nitrogênio devem ajudar no efeito da redução.
E ₂₄	O conversor age de uma forma que ele separa os gases e libera só a porcentagem que é menos prejudicial.
E ₂₅	
E ₂₆	Separando as composições. Ela entra inteira e é separada dentro do conversor para sair mais leve.

E ₂₇	Ele converte os gases, "quebrando" as moléculas, fazendo com que elas não fiquem tão "fortes"/prejudiciais.
E ₂₈	O conversor catalítico transforma os gases, ou separa eles e acaba jogando um gás menos poluído no ar.
E ₂₉	Porque o monóxido de carbono, CO (10%), vem junto com o dióxido de carbono que é 90%; e o óxido de nitrogênio, NO e NO ₂ (10%), vem com o nitrogênio (90%). Isso faz com que os gases "prejudiciais" reduzem.
E ₃₀	
E ₃₁	A mistura dos gases com o vapor da água. A maneira como os gases são colocados e como eles saem. A mudança que ocorre com os gases.
E ₃₂	O monóxido de carbono é um gás prejudicial a todos, então através do conversor catalítico, esse gás é convertido em pouco monóxido de carbono e a maior parte em dióxido de carbono, que causa menos danos ao meio ambiente.
E ₃₃	Pois possui água a vapor.
E ₃₄	
E ₃₅	Ex.: Escapamento de carros. Os gases prejudiciais são reduzidos ao sair do escapamento.
E ₃₆	Ele faz com que a parte do gás que é mais prejudicial seja reduzida.
E ₃₇	Monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, pois saem duas vezes.
E ₃₈	Quando os gases entram são mais prejudiciais, e quando saem eles estão menos poluentes.
E ₃₉	O conversor catalítico reduz o efeito prejudicial dos gases, pois ele reduz a emissão de monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, que são prejudiciais a nossa saúde.
E ₄₀	Ele reduz a produção de monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio.
E ₄₁	Pois existem muitos veículos em nosso mundo, o conversor catalítico reduz o efeito prejudicial por transformar cerca de 90% dos gases em outros menos nocivos.
E ₄₂	Gases como monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio são prejudiciais ao meio ambiente - verdadeiros venenos para a atmosfera e para todos os seres que dela dependem. O conversor catalítico "recombina" os átomos das moléculas, diminuindo a porcentagem de tais gases, formando dióxido de carbono e nitrogênio, os quais, ainda que ruins em excesso, estão naturalmente presentes no ar, logo reagem menos negativamente com o ambiente.
E ₄₃	O catalítico como se fosse um filtro que é utilizado para filtrar o ar (gases) do escapamento, fazendo assim o ar não sair "tão poluído" assim.
E ₄₄	O conversor quebra, por exemplo a molécula de um óxido de nitrogênio e o transforma em gás nitrogênio, que é menos prejudicial e muito mais abundante na atmosfera.
E ₄₅	O conversor catalítico transforma gases prejudiciais à saúde em gases menos prejudiciais, nitrogênio, dióxido de carbono não são tão prejudiciais; por isso transformam o monóxido de carbono em CO ₂ e óxido de nitrogênio em N ₂ , deixando apenas 10% de cada gás tóxico.
E ₄₆	Ocorre uma transformação com o monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio.
E ₄₇	O conversor, por exemplo, ao filtrar o monóxido de carbono, que é prejudicial, transforma esse gás em dióxido de carbono (90%) e só 10% de monóxido prevalece, assim, ajudando a preservar a natureza da poluição.
E ₄₈	O conversor catalítico reduz o efeito pois transformam esses gases que entram em "outros" gases com uma porcentagem menor.
E ₄₉	O conversor catalítico retém, em estruturas internas, os gases que serão lançados, permitindo que eles reajam com o oxigênio antes de saírem para o ambiente. A exemplo, o monóxido de carbono (CO), que tem 600 vezes mais afinidade com a hemoglobina do que o oxigênio (O ₂) e, portanto, pode causar asfixia, é convertido, a partir da reação $CO + 1/2 O_2 \rightarrow CO_2$, tornando-se dióxido de carbono, que tem pouca afinidade às hemácias e, por isso, são menos prejudiciais, além de outros fatores ambientais.

E ₅₀	O conversor catalítico simplifica, separa a molécula tornando os gases nocivos em menos nocivos. Por exemplo, o conversor usado em carros, quando a combustão não é total pode eliminar gases nocivos e o conversor torna o que sai do escapamento do carro menos nocivo.
E ₅₁	O conversor transformou os óxidos de nitrogênio em óxidos de nitrogênio (10%) e nitrogênio (90%). Ele mudou quase 100% de um gás hiper nocivo, para um menos prejudicial.
E ₅₂	Nitrogênio (N ₂). Dióxido de carbono (CO ₂). Pois os gases entram no conversor e a maneira como eles saem.
E ₅₃	Ele converte os gases, que os converte de como era antes (prejudicial).
E ₅₄	Ele atua adicionando moléculas de oxigênio em alguns casos: CO --> CO e CO ₂ (menos prejudicial) e adicionando-os em outros: NO ₂ --> N ₂ (menos prejudicial) e NO ₂ , reduzindo os gases mais perigosos.
E ₅₅	Como o monóxido de carbono e o óxido de nitrogênio se dividem, com isso ele reduz o efeito dos gases.
E ₅₆	Um exemplo é o monóxido de carbono (CO), onde 90% do gás é convertido em gases menos nocivos, como CO ₂ (dióxido de carbono).
E ₅₇	Ele pega os gases e deixa eles mais fracos (menos prejudiciais).
E ₅₈	O conversor transforma o gás CO que é bem prejudicial em CO ₂ que é bem menos prejudicial.
E ₅₉	O conversor catalítico transforma gases como CO e óxidos de nitrogênio em CO ₂ e N ₂ , os quais não são nocivos ao meio ambiente. Porém, só certa parte é transformada, diminuindo a poluição.
E ₆₀	Pois por exemplo, o monóxido de carbono é reduzido em 90%, transformando-o em dióxido de carbono (CO ₂).
E ₆₁	Alguns gases, como o monóxido de carbono, são divididos em gases, assim ficando em quantidades reduzidas.
E ₆₂	Ele deixa os gases mais nocivos em menor concentração e os não tão nocivos ou não nocivos em sua concentração normal.
E ₆₃	Me parece que ele divide os gases, tornando-os mais fracos.
E ₆₄	Adicionam alguns gases para ser menos prejudicial à saúde.
E ₆₅	Esse conversor "transforma" os gases prejudiciais em não prejudiciais. Bom, na verdade ele diminui a quantidade transformando em gases menos prejudiciais.
E ₆₆	Os gases que entram no conversor catalítico são "separados", tornando-os menos prejudiciais.
E ₆₇	O monóxido de carbono é um gás bastante prejudicial, com o conversor catalítico em vez de sair 100% dele, sai apenas 10%.
E ₆₈	Ele divide o monóxido de carbono e o óxido de nitrogênio em 10% assim diminuindo o efeito prejudicial.
E ₆₉	
E ₇₀	
E ₇₁	O conversor catalítico converte gases nocivos em gases "menos nocivos", a transformação apresentada sobre o monóxido de carbono (CO) que depois de transformado tem 90% da sua composição transformada em dióxido de carbono (CO ₂).
E ₇₂	Dentro do conversor catalítico ocorre mudança com os gases: CO ---> CO (10%) e CO ₂ (90%); NO e NO ₂ ---> NO, NO ₂ (10%) e N ₂ (90%).
E ₇₃	Ele altera a molécula, por exemplo o monóxido de carbono. Essa conversão de gases acaba se tornando importante e benéfica.
E ₇₄	
E ₇₅	
E ₇₆	Ele divide e converte os gases em outros pequenos gases.
E ₇₇	O H ₂ O é filtrado todo para proteger o meio ambiente e se limpa.
E ₇₈	Um catalítico usado na maioria dos automóveis são a gasolina e o etanol. A combustão completa destes dois gera dióxido de carbono. O catalítico transforma os gases poluentes em gases não poluentes.

E ₇₉	O monóxido de carbono (CO) é convertido em CO ₂ , sobrando apenas uma pequena quantidade de CO. Já no caso dos óxidos de nitrogênio (NO, NO ₂), os gases são convertidos em N ₂ e sobra 10% de NO e NO ₂ .
E ₈₀	O conversor catalítico absorve os gases em sua forma inteira e meio que "quebra" eles até se tornarem outros gases que quando liberados não causam tantos danos, que causariam em seu estado inicial.
E ₈₁	O conversor os separa, dissolve a composição química dos gases os tornando menos nocivos.
E ₈₂	Os gases que entram eles saem 90% menos prejudiciais, mas nem todos são convertidos como o dióxido de carbono (CO ₂), nitrogênio (N ₂), entre outros.
E ₈₃	O conversor reduz uma parte do gás tornando-o menos prejudicial.
E ₈₄	Por conta do vapor da água, o conversor separa as moléculas dos gases mais prejudiciais, deixando elas em uma porcentagem menor.
E ₈₅	Os gases entram e lá dentro são convertidos em alguns dióxidos.
E ₈₆	Monóxido de carbono entrando (ilustração do conversor catalítico) Monóxido de carbono (10%), Dióxido de carbono (90%) saindo.
E ₈₇	H ₂ O faz com que os gases se dividem em uma porção menor, sendo menos agressivo, filtrado, sem ofender muito o meio ambiente.
E ₈₈	O conversor quando ele recebe os gases ele torna eles menos nocivos e dependendo dos gases ele faz sair em outras quantidades para não prejudicar o escapamento.
E ₈₉	Partimos do princípio que "nada se cria tudo se transforma". A junção dos gases dentro do conversor os transformou em gases menos nocivos.
E ₉₀	Ele transforma os gases em duas fórmulas diferentes, reduz de alguns em 90% e 10% do outro, separa ele.
E ₉₁	Que os gases entra no conversor e logo já sai novamente.
E ₉₂	Seria como um destilador de água (transformando a água suja em potável), ou seja, gases ruins em bons.
E ₉₃	Os únicos gases que sofreram mudança foi o monóxido de carbono e o óxido de nitrogênio. O monóxido de carbono ele foi liberado só 10%, e junto com ele foi liberado 90% de um gás menos nocivo, que foi o dióxido de carbono. Mesmo caso aconteceu com óxido de nitrogênio, foi liberado 10% e junto a ele foi liberado 90% de nitrogênio que é menos nocivo.
E ₉₄	
E ₉₅	Não consegui.
E ₉₆	Quando os gases saem do conversor catalítico, não sai com ele 100% do produto. O conversor catalítico acaba com 90% ou 10% do produto antes mesmo que ele saia ao meio ambiente, sendo assim menos prejudicial.
E ₉₇	Ele reduz o efeito de um jeito diferente, como por exemplo o monóxido de carbono (CO), ele sai, mas liberado com ele, outros dois gases.
E ₉₈	
E ₉₉	Ele transforma um gás no outro como: monóxido de carbono em 10% dele mesmo + 90% de dióxido de carbono; o mesmo acontece com NO, NO ₂ que vira 90% de nitrogênio e outros 10% de NO, NO ₂ .
E ₁₀₀	O conversor funciona como um filtro, ou seja, transforma os gases poluentes em gases mais "limpos".
E ₁₀₁	