



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GÉSSICA MAYARA OTTO VACHESKI

**A QUÍMICA NO EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO E O
LETRAMENTO CIENTÍFICO:
UM OLHAR A PARTIR DOS CRITÉRIOS DO PROGRAMA
INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE ESTUDANTES**

GÉSSICA MAYARA OTTO VACHESKI

**A QUÍMICA NO EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO E O
LETRAMENTO CIENTÍFICO:
UM OLHAR A PARTIR DOS CRITÉRIOS DO PROGRAMA
INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE ESTUDANTES**

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

Orientador: Prof.º Dr.º Álvaro Lorencini Júnior

Londrina
2021

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

V118q Vacheski, Géssica Mayara Otto.

A Química no Exame Nacional do Ensino Médio e o Letramento Científico: um olhar a partir dos critérios do Programa Internacional para a Avaliação de Alunos / Géssica Mayara Otto Vacheski. - Londrina, 2021.

250 f.

Orientador: Álvaro Lorencini Júnior.

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, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Avaliação externa. ENEM. PISA. Letramento Científico. Química. - Tese. I. Lorencini Júnior, Álvaro. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 37

GÉSSICA MAYARA OTTO VACHESKI

**A QUÍMICA NO EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO E O
LETRAMENTO CIENTÍFICO:
UM OLHAR A PARTIR DOS CRITÉRIOS DO PROGRAMA
INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE ESTUDANTES**

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

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Lorencini Júnior
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Albino Oliveira Nunes Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte – IFRN

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

Prof. Dra. Rosana Franzen Leite
Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE

Prof. Dra. Silvia Zamberlan Costa Beber
Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE

Londrina, 06 de dezembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé que me mantém viva. Seu fôlego de vida em mim é meu sustento e me dá coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

Ao meu esposo Kesler, que não mediu esforços para me auxiliar em tudo, incentivando-me e compreendendo minha ausência durante as madrugadas, os fins de semana e os feriados.

À minha filha Luísa que nasceu no início desse doutorado e, mesmo muito pequena, por diversas vezes, teve que compreender a ausência da mamãe.

Aos meus pais Gelson e Zana, em especial à minha mãe e amiga, que soube entender a minha ausência durante muitos momentos e me auxiliou por diversas vezes, cuidando da minha filha para que eu pudesse me dedicar a esse trabalho.

Às minhas irmãs Maria Gabriela e Taiane, pela nossa amizade.

Aos meus amigos que desde o início me incentivaram a continuar lutando por esse sonho.

Ao professor Álvaro que me auxiliou, contribuindo não somente para esta pesquisa, mas para a minha prática.

Às professoras Fabiele e Rosana, que além de compor essa banca, fizeram parte da minha formação inicial e contribuíram muito para que eu chegasse até aqui, sendo exemplos para mim.

Aos professores Albino e Sílvia por aceitarem o convite para fazer parte da banca e contribuírem imensamente com suas reflexões.

Aos meus professores do PECEM, que contribuíram para a minha formação e para o desenvolvimento dessa tese.

Enfim, hoje eu posso dizer que venci o gigante porque o Deus no qual eu confio é maior do que ele! Obrigada a todos!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes” (Marthin Luther King)

VACHESKI, Gécica Mayara Otto. **A Química no Exame Nacional do Ensino Médio e o Letramento Científico**: um olhar a partir dos critérios do Programa Internacional para a Avaliação de Alunos. 2021. 250 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

Considerando a relevância das avaliações externas para a leitura das instituições de ensino e a implementação de políticas públicas para a avaliação dos processos de ensino e de aprendizagem, o presente estudo traz a discussão sobre as avaliações externas, em específico o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e o Programa Internacional para a Avaliação de Alunos (PISA). Para isso, buscamos compreender, nessa investigação, quais dimensões para o Letramento Científico que fundamentam o PISA são contempladas nas questões do ENEM, e como elas estão organizadas. Sendo assim, realizamos a análise das questões quanto ao contexto, competência e conhecimento, com o intuito de identificar quais são as dimensões para o Letramento Científico presentes no ENEM e como elas estão organizadas. Esse trabalho é de cunho qualitativo e fizemos uso da análise de conteúdo (BARDIN, 2011) como procedimento analítico. Para dar início, consultamos os cadernos do ENEM correspondentes à área de Ciências da natureza e suas tecnologias no período de 2012 a 2020, e os itens liberados das provas de Ciências de 2000 a 2015, com o intuito de selecionar as questões correspondentes à disciplina de Química. Posteriormente, codificamos e separamos as questões por temáticas, a fim de analisar aquelas que apresentassem o maior número de itens, resultando em oitenta e cinco questões (ENEM e PISA) que deram origem a quatro temas: gás carbônico ou dióxido de carbono, água, fontes de energia e poluição e seus impactos ambientais. Os resultados nos mostram que a prova do ENEM é bem contextualizada, mas não contribui para a formação do aluno crítico, já que em sua grande maioria, as questões apresentam como exigência que o aluno explique os fenômenos cientificamente, sendo necessário para isso, somente o conhecimento do conteúdo, e não como as ideias são produzidas (conhecimento procedimental) e a compreensão do raciocínio e justificativa para o uso dessas ideias (conhecimento epistêmico) e, por essa razão, podemos concluir que as competências e conhecimentos são insuficientes para a formação de estudantes Letrados Cientificamente. Isso nos permite compreender o motivo do insucesso dos alunos brasileiros na prova PISA, que diferentemente do ENEM, prioriza o conhecimento procedimental e epistêmico, exigindo do aluno uma postura reflexiva sobre cada uma das questões.

Palavras-chave: avaliação externa; ENEM; PISA; letramento científico.

VACHESKI, Gécica Mayara Otto. **Chemistry in the National High School Exam and Scientific Literacy**: a look from the criteria of the International Program for Student Assessment. 2021. 250 p. Thesis (Postgraduate Program in Science Teaching and Mathematics Education) – State University of Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

Considering the relevance of external evaluations for the reading of educational institutions and the implementation of public policies for the evaluation of the teaching/learning process, this study brings a discussion on external evaluations, in particular the National High School Exam (ENEM) and the International Program for Student Assessment (PISA). For this, we seek to understand, in this investigation, which dimensions for Scientific Literacy that underlie PISA are contemplated in the ENEM questions, and how they are organized. This work is qualitative and we used content analysis (BARDIN, 2011) as an analytical procedure. To start, we consulted the ENEM tests corresponding to the area of Natural Sciences and its technologies in the period from 2012 to 2020, and the items released from the Science tests from 2000 to 2015, in order to select the questions corresponding to the discipline of Chemistry. Subsequently, we coded and separated the questions by thematic, in order to analyze those with the highest number of items, resulting in eighty-five questions (ENEM and PISA) that gave rise to four themes: carbon dioxide, water, energy sources and pollution and their environmental impacts. The results show us that the ENEM test is well contextualized, but does not contribute to the formation of the critical student, since the vast majority of the questions require the student to explain the phenomena scientifically, for this only knowledge of the content is needed, rather than how ideas are produced (procedural knowledge) and the understanding of reasoning and justification for the use of these ideas (epistemic knowledge) and, for this reason, we can conclude that skills and knowledge are insufficient for the training of Scientifically Literate students. This allows us to understand the reason for the failure of Brazilian students in the PISA test, which, unlike ENEM, prioritizes procedural and epistemic knowledge, demanding from the student a reflective stance on each of the questions.

Keywords: external evaluation; ENEM; PISA; scientific literacy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– As inter-relações entre as dimensões do letramento científico.....	40
Figura 2	– Desempenho do Brasil no PISA de 2000 a 2018.....	44
Figura 3	– Histórico do ENEM.....	48
Figura 4	– Conhecimento de Conteúdo de Ciências no PISA 2015.....	62
Figura 5	– Conhecimento Procedimental no PISA 2015.....	62
Figura 6	– Conhecimento Epistemológico no PISA 2015.....	63
Figura 7	– Informações contidas sobre cada um dos itens liberados da prova PISA 2015.....	65
Figura 8	– Texto e gráfico fornecidos para as questões P1 e P2.....	69
Figura 9	– Questão P1.....	69
Figura 10	– Questão P2.....	70
Figura 11	– Texto fornecido para as questões P13, P14 e P15.....	72
Figura 12	– Questão P13.....	73
Figura 13	– Questão P14.....	74
Figura 14	– Questão P15.....	76
Figura 15	– Texto e diagramas fornecidos para as questões P37 a P39....	78
Figura 16	– Questão P37.....	72
Figura 17	– Questão P38.....	80
Figura 18	– Questão P39.....	81
Figura 19	– Questão P51.....	83
Figura 20	– Questão P52.....	84
Figura 21	– Questão P53.....	85
Figura 22	– Questão P55.....	87
Figura 23	– Questão E4.....	88
Figura 24	– Questão E5.....	90
Figura 25	– Questão E28.....	92
Figura 26	– Questão E41.....	94

Figura 27	–	Questão E163.....	96
Figura 28	–	Questão E184.....	97
Figura 29	–	Questão E189.....	100
Figura 30	–	Esquema fornecido para as questões P16 a P19.....	105
Figura 31	–	Questão P16.....	106
Figura 32	–	Questão P17.....	107
Figura 33	–	Questão P18.....	108
Figura 34	–	Questão P19.....	109
Figura 35	–	Texto e quadro fornecidos para as questões P25 a P27.....	110
Figura 36	–	Questão P26.....	111
Figura 37	–	Questão P27.....	112
Figura 38	–	Texto e foto fornecidos para as questões P40 a P41.....	113
Figura 39	–	Questão P41.....	114
Figura 40	–	Texto e modelo fornecidos para as questões P56 a P59.....	115
Figura 41	–	Questão P56.....	116
Figura 42	–	Questão P57.....	117
Figura 43	–	Questão E23.....	118
Figura 44	–	Questão E29.....	119
Figura 45	–	Questão E30.....	120
Figura 46	–	Questão E33.....	122
Figura 47	–	Questão E96.....	123
Figura 48	–	Questão E147.....	124
Figura 49	–	Texto fornecido para as questões P9 a P15.....	130
Figura 50	–	Questão P10.....	131
Figura 51	–	Questão P12.....	132
Figura 52	–	Texto e imagem fornecidos para as questões P46 a P50.....	133
Figura 53	–	Questão P50.....	134
Figura 54	–	Texto e modelo fornecidos para as questões P56 a P59.....	136
Figura 55	–	Questão P58.....	137
Figura 56	–	Questão P59.....	138
Figura 57	–	Questão E9.....	139

Figura 58	–	Questão E35.....	140
Figura 59	–	Questão E36.....	142
Figura 60	–	Questão E64.....	144
Figura 61	–	Questão E67.....	146
Figura 62	–	Questão E71.....	147
Figura 63	–	Questão E74.....	150
Figura 64	–	Questão E76.....	151
Figura 65	–	Questão E90.....	153
Figura 66	–	Questão E93.....	155
Figura 67	–	Questão E97.....	156
Figura 68	–	Questão E105.....	157
Figura 69	–	Questão E106.....	158
Figura 70	–	Questão E111.....	160
Figura 71	–	Questão E112.....	161
Figura 72	–	Questão E130.....	163
Figura 73	–	Questão E131.....	164
Figura 74	–	Questão E153.....	166
Figura 75	–	Questão E158.....	167
Figura 76	–	Questão E159.....	169
Figura 77	–	Questão E176.....	170
Figura 78	–	Questão E181.....	171
Figura 79	–	Texto fornecido para as questões P32 e P33.....	178
Figura 80	–	Questão P32.....	178
Figura 81	–	Questão P33.....	168
Figura 82	–	Texto e esquema fornecidos para as questões P34 a P36....	181
Figura 83	–	Questão P34.....	181
Figura 84	–	Questão P35.....	182
Figura 85	–	Questão P36.....	1833
Figura 86	–	Texto e imagem fornecidos para a questão P46.....	185
Figura 87	–	Questão P46.....	185
Figura 88	–	Questão E2.....	187

Figura 89	–	Questão E8.....	189
Figura 90	–	Questão E10.....	190
Figura 91	–	Questão E19.....	192
Figura 92	–	Questão E25.....	193
Figura 93	–	Questão E32.....	195
Figura 94	–	Questão E39.....	196
Figura 95	–	Questão E46.....	197
Figura 96	–	Questão E48.....	199
Figura 97	–	Questão E80.....	200
Figura 98	–	Questão E116.....	202
Figura 99	–	Questão E128.....	203
Figura 100	–	Questão E134.....	204
Figura 101	–	Questão E149.....	205
Figura 102	–	Questão E178.....	207
Figura 103	–	Questão E182.....	208
Figura 104	–	Questão E192.....	210
Figura 105	–	Questão E195.....	211
Figura 106	–	Diagrama da relação entre a competência e o conhecimento para o ENEM.....	218

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Sistematização dos instrumentos utilizados no Brasil com destaque para o domínio principal de cada edição.....	35
Quadro 2	– Definições dos Domínios	37
Quadro 3	– Aspectos do quadro de avaliação do Letramento Científico para o PISA	39
Quadro 4	– Níveis da escala de proficiência de Ciências, pontuação mínima de cada nível, descrição dos conhecimentos e habilidades demonstrados e percentual de estudantes brasileiros em cada nível, no PISA 2015 e 2018.....	40
Quadro 5	– Contextos para o letramento científico no PISA 2015.....	59
Quadro 6	– Competências científicas.....	60
Quadro 7	– Quadro analítico para as questões de Química do ENEM com base das dimensões para o Letramento Científico da prova PISA.....	63
Quadro 8	– Grupos e suas respectivas questões.....	67
Quadro 9	– Análise da questão P1.....	70
Quadro 10	– Análise da questão P2.....	71
Quadro 11	– Análise da questão P13.....	73
Quadro 12	– Análise da questão P14.....	75
Quadro 13	– Análise da questão P15.....	76
Quadro 14	– Análise da questão P37.....	79
Quadro 15	– Análise da questão P38.....	80
Quadro 16	– Análise da questão P39.....	81
Quadro 17	– Análise da questão E4.....	88
Quadro 18	– Análise da questão E5.....	90
Quadro 19	– Análise da questão E28.....	92
Quadro 20	– Análise da questão E41.....	94
Quadro 21	– Análise da questão E163.....	96
Quadro 22	– Análise da questão E184.....	98

Quadro 23	– Análise da questão E189.....	100
Quadro 24	– Análises do tema Gás carbônico.....	101
Quadro 25	– Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática gás carbônico.....	104
Quadro 26	– Análise da questão P16.....	106
Quadro 27	– Análise da questão P17.....	107
Quadro 28	– Análise da questão P18.....	108
Quadro 29	– Análise da questão P19.....	109
Quadro 30	– Análise da questão P26.....	111
Quadro 31	– Análise da questão P27.....	112
Quadro 32	– Análise da questão P41.....	114
Quadro 33	– Análise da questão E23.....	118
Quadro 34	– Análise da questão E29.....	119
Quadro 35	– Análise da questão E30.....	121
Quadro 36	– Análise da questão E33.....	122
Quadro 37	– Análise da questão E96.....	124
Quadro 38	– Análise da questão E147.....	125
Quadro 39	– Análises do tema Água.....	125
Quadro 40	– Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática água.....	128
Quadro 41	– Análise da questão P10.....	131
Quadro 42	– Análise da questão P12.....	132
Quadro 43	– Análise da questão P50.....	135
Quadro 44	– Análise da questão E9.....	140
Quadro 45	– Análise da questão E35.....	141
Quadro 46	– Análise da questão E36.....	142
Quadro 47	– Análise da questão E64.....	144
Quadro 48	– Análise da questão E67.....	147
Quadro 49	– Análise da questão E71.....	148
Quadro 50	– Análise da questão E74.....	151
Quadro 51	– Análise da questão E76.....	152

Quadro 52	– Análise da questão E90.....	153
Quadro 53	– Análise da questão E93.....	155
Quadro 54	– Análise da questão E97.....	157
Quadro 55	– Análise da questão E105.....	158
Quadro 56	– Análise da questão E106.....	159
Quadro 57	– Análise da questão E111.....	160
Quadro 58	– Análise da questão E112.....	162
Quadro 59	– Análise da questão E130.....	163
Quadro 60	– Análise da questão E131.....	165
Quadro 61	– Análise da questão E153.....	167
Quadro 62	– Análise da questão E158.....	168
Quadro 63	– Análise da questão E159.....	169
Quadro 64	– Análise da questão E176.....	171
Quadro 65	– Análise da questão E181.....	72
Quadro 66	– Análises do tema Fontes de Energia.....	172
Quadro 67	– Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática fontes de energia.....	175
Quadro 68	– Análise da questão P32.....	179
Quadro 69	– Análise da questão P33.....	180
Quadro 70	– Análise da questão E70.....	182
Quadro 71	– Análise da questão P35.....	182
Quadro 72	– Análise da questão P36.....	183
Quadro 73	– Análise da questão P46.....	186
Quadro 74	– Análise da questão E2.....	188
Quadro 75	– Análise da questão E8.....	189
Quadro 76	– Análise da questão E10.....	191
Quadro 77	– Análise da questão E19.....	192
Quadro 78	– Análise da questão E25.....	194
Quadro 79	– Análise da questão E32.....	195
Quadro 80	– Análise da questão E39.....	197
Quadro 81	– Análise da questão E46.....	198

Quadro 82 – Análise da questão E48.....	199
Quadro 83 – Análise da questão E80.....	201
Quadro 84 – Análise da questão E116.....	202
Quadro 85 – Análise da questão E128.....	203
Quadro 86 – Análise da questão E134.....	205
Quadro 87 – Análise da questão E149.....	206
Quadro 88 – Análise da questão E178.....	207
Quadro 89 – Análise da questão E182.....	209
Quadro 90 – Análise da questão E192.....	210
Quadro 91 – Análise da questão E195.....	211
Quadro 92 – Análises do tema Poluição e seus impactos ambientais.....	212
Quadro 93 – Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática Poluição e seus impactos ambientais.....	215

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Ácido Acetilsalicílico
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CFC	Clorofluorcarboneto
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LED	Light Emitting Diode
MEC	Ministério da Educação
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PECEM	Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática
PET	Polietileno tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PISA	Programa Internacional para a Avaliação de Alunos
PVC	Policloreto de vinila
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	16
INTRODUÇÃO	19
1 CAPÍTULO 1 – UM OLHAR SOBRE A AVALIAÇÃO	23
1.1 PERSPECTIVAS GERAIS DA AVALIAÇÃO.....	23
1.2 ASPECTOS DA AVALIAÇÃO EXTERNA.....	28
2 CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÕES EXTERNAS: ENEM E PISA	34
2.1 O PROGRAMA INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO: PISA.....	34
2.2 O EXAME NACIONAL DE AVALIAÇÃO: ENEM.....	45
2.3 INTEGRAÇÃO ENTRE O ENEM E O PISA.....	53
3 CAPÍTULO 3 – CAMINHOS DA PESQUISA	56
4 CAPÍTULO 4 – CONEXÕES ENTRE O ENEM E O PISA	67
4.1 GÁS CARBÔNICO OU DIÓXIDO DE CARBONO.....	68
4.2 ÁGUA.....	105
4.3 FONTES DE ENERGIA.....	129
4.4 POLUIÇÃO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	177
4.5 SÍNTESE DAS TEMÁTICAS.....	217
CONSIDERAÇÕES	224
REFERÊNCIAS	227
APÊNDICES	235
APÊNDICE A – Questões do ENEM codificadas com seus respectivos temas, descrição e ano.....	235
APÊNDICE B – Questões do PISA codificadas com seus	

respectivos temas, descrição e ano..... 244

APRESENTAÇÃO

Antes de iniciar este trabalho, gostaria de apresentar os caminhos que trilhei até aqui e que justificam as minhas escolhas na composição dessa pesquisa, ou melhor, demonstrar como o tema surgiu a partir do contexto de vida de uma professora no “chão da escola”.

Primeiramente gostaria de ressaltar minhas origens a fim de explicitar o quanto lutei para que hoje estivesse escrevendo essa tese. Venho de uma família humilde em que o pai é caminhoneiro e a mãe, do lar, e apesar do pouco estudo que ambos tiveram, sempre incentivaram as três filhas a seguirem os estudos para além da educação básica. Com muito esforço e incentivo por parte deles, me dediquei muito e no ensino médio fui selecionada para receber uma bolsa de estudos em um colégio particular, na cidade onde residia (Faxinal/PR).

Já no primeiro ano iniciei a dedicação integral aos estudos, a fim de ser aprovada no vestibular da UEL, que era o meu sonho. A princípio gostaria de fazer algum curso na área da saúde, mas meus pais não tinham condições financeiras para que eu pudesse fazer um curso integral em Londrina, tampouco pagar uma faculdade particular onde o curso fosse ofertado no período noturno. Eu deveria escolher um curso noturno em função do transporte até a universidade, e por me identificar muito com a disciplina, optei pela Licenciatura em Química.

Fui aprovada no vestibular da UEL e UNIOESTE no ano de 2008 e pude optar em qual Universidade pública estudaria. Ingressei na UEL em 2009 e passei a percorrer diariamente duzentos quilômetros de ônibus, por quatro anos seguidos. Durante a graduação apresentava resistência em seguir na licenciatura, até que ingressei no projeto PIBID, me apaixonei por ela e pude concluir que estava trilhando o caminho certo.

Concluí a graduação em 2012 e, no ano seguinte, iniciei a Especialização em Química do Cotidiano na escola, ofertada pelo departamento de Química da UEL, e desenvolvi o trabalho intitulado “O enfoque CTS nos planejamentos de aula de licenciandos em Química”. Além disso, em concomitância com a especialização, iniciei algumas disciplinas como aluna especial no PECEM, entre elas a disciplina de Formação de professores, ofertada pelo professor Dr.

Álvaro. Durante as discussões da disciplina, recebi o convite do professor para participar do Getepec (Grupo de pesquisa tendências e perspectivas do ensino das Ciências) do qual faço parte até hoje. Sob a orientação do professor Dr. Álvaro, ingressei no PECEM como aluna regular do mestrado em 2014 e desenvolvemos um trabalho na linha de pesquisa de formação de professores, intitulado “Atividades sob a perspectiva CTS na formação inicial de professores de Química: implicações para o desenvolvimento profissional docente” (VACHESKI, 2016).

Em 2015 assumi o concurso da Secretaria do Estado da Educação (SEED) e passei a lecionar no Ensino Médio em duas escolas na cidade de Vera Cruz do Oeste/PR, onde resido até o momento. Nessa árdua tarefa de trabalho como professora de uma disciplina com apenas duas aulas semanais no Ensino Médio e em uma cidade pequena, passei por outras experiências para além dessas duas escolas, que contribuíram muito para a minha identidade docente: casa familiar rural com ensino médio integrado ao curso técnico de agroindústria; escola do campo; ensino médio regular em uma cidade vizinha com vários alunos com deficiências físicas e mentais; ensino médio integrado ao curso técnico de formação docente.

Ao concluir o mestrado em 2016, participei do processo seletivo do PECEM e ingressei no doutorado, em 2017, sob a orientação do mesmo professor. Nesse período, intrigada com a forma de avaliação que eu vinha desenvolvendo na minha rotina semanal de sala de aula, mais precisamente nas quinze turmas em que lecionava, e pensando na importância que deveria dar ao ENEM para os meus alunos do último ano do ensino médio, resolvi iniciar essa pesquisa. Comecei consultando o ENEM, como as questões eram organizadas, o grau de dificuldade que elas apresentavam e o conteúdo de Química mais abordado. Ao me debruçar sobre os referenciais teóricos que tratavam desse assunto, organizei um pré-projeto e ao apresentá-lo ao meu orientador, ele sugeriu que fizéssemos a relação com o PISA. A princípio fiquei apreensiva, já que a prova PISA era algo desconhecido para mim, mas após algumas pesquisas e ao averiguar a sua importância, optei por encarar esse desafio e iniciamos a nossa pesquisa.

De início, busquei os fundamentos da prova PISA e procurei por uma relação entre ela e o ENEM. Foi onde me deparei com o referencial do

Letramento Científico no qual a prova PISA é fundamentada e percebemos que poderíamos fazer a correlação entre elas. Dessa forma, demos início à pesquisa que iremos apresentar na sequência.

Antes disso, para findar minha apresentação, no início de 2021 começou outra etapa importante em minha vida, ou seja, o ingresso no ensino superior como docente colaboradora na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – campus Toledo, no curso de Química-Licenciatura, o que tem contribuído, demasiadamente, para a constituição da minha identidade enquanto pesquisadora.

Agora, após discorrer sobre a minha trajetória, apresentamos o nosso trabalho, fruto de muita dedicação. Boa leitura!

INTRODUÇÃO

A inserção dos estudantes no processo de aprendizagem com o intuito de desenvolver competências e habilidades associadas à investigação científica, proporcionando uma percepção ampla de ciência, é enfatizada em diversos documentos oficiais (BRASIL, 1998, 2000, 2002, 2006, 2018a).

Da mesma forma, a avaliação deve ser condizente com essa proposta, por isso a importância de compreendê-la dentro dessa perspectiva para a investigação científica, e optamos por fazê-la em avaliações externas.

A avaliação externa é utilizada em diversos países na reflexão sobre as condições da educação e como forma de repensar em políticas educativas, contudo: “Aceita-se como conhecimento adquirido que as avaliações externas são sinônimo de rigor, de exigência e de qualidade sem equacionar a possibilidade da sua utilização poder ter uma diversidade de efeitos nefastos” (FERNANDES, 2019, p.645).

Da mesma forma como alguns autores questionam as avaliações externas por acreditarem que elas aprofundam as desigualdades entre as escolas e os alunos, nós questionamos como seria a qualidade dessas avaliações no quesito Letramento Científico, e por isso desenvolvemos o presente estudo, investigando duas delas: ENEM e PISA.

Mas o que é o Letramento Científico? Quais as dimensões que o fundamentam?

Segundo a OECD (2016a), o Letramento Científico é a capacidade de se envolver em questões pertinentes à ciência como um cidadão reflexivo, participando de discussões sobre ciência e tecnologia. Um cidadão letrado cientificamente deve ter a competência de explicar fenômenos, avaliar e planejar investigações e interpretar dados e evidências cientificamente, fazendo uso do conhecimento do conteúdo, procedimental ou epistêmico em diferentes contextos.

As avaliações externas por vezes condicionam a seleção das propostas de trabalho a serem desenvolvidas com os alunos, levando à realização de tarefas com questões semelhantes às que aparecem nos exames (FERNANDES, 2019). Isso reforça a importância desse estudo no sentido de se

analisar quais dimensões para o Letramento Científico são apresentadas nas questões e como elas aparecem, já que elas influenciam diretamente nas propostas de ensino e são, muitas vezes, utilizadas para medir o desempenho dos estudantes ou permitir o acesso ao ensino superior.

Com base no pressuposto de que o PISA (Programa Internacional para a Avaliação de Alunos) é o exame que avalia os conhecimentos e habilidades dos alunos para a vivência em sociedade em relação às Ciências (Letramento Científico), Matemática (Letramento Matemático) e leitura (Letramento em Leitura), posicionando um país em relação aos demais e que, no Brasil, a preparação para o ENEM é priorizada nas escolas, buscamos compreender, nessa investigação, quais dimensões para o Letramento Científico que fundamentam o PISA são contempladas nas questões do ENEM, e como elas estão organizadas.

Para isso, selecionamos as questões com conteúdo de Química do ENEM do período de 2012 a 2020. Para o PISA, consultamos o documento que traz os itens liberados das provas de Ciências (de 2000 a 2015) e selecionamos da mesma forma, as questões correspondentes à disciplina de Química, com o intuito de realizar um comparativo entre elas e as questões do ENEM. Por se tratar de um grande número de questões, separamos e agrupamos as questões do ENEM e PISA com temáticas semelhantes, para que pudéssemos iniciar as análises.

Consideramos que os objetivos dos testes são diferentes, uma vez que o PISA tem por objetivo comparar até que ponto a aprendizagem que os jovens de 15 anos tiveram lhes permitiu estratégias e habilidades para a vida enquanto o ENEM, realizado ao término do ensino médio (com jovens na faixa de 17 anos de idade), permite ao estudante avaliar a sua formação e subsidiar o acesso à educação superior. Contudo, realizamos a análise tendo em vista que o Letramento Científico deveria ser pensado em todas as avaliações em grande escala, já que um cidadão letrado cientificamente é capaz de compreender as implicações sociais e tomar decisões precisas sobre o meio ambiente.

Na sequência descreveremos, de forma resumida, a estrutura da tese, a fim de permitir ao leitor uma visão geral do processo de construção e dos conceitos e discussões nela inseridos.

Antes desse texto, trouxemos o item **Apresentação** que mostrou o caminho trilhado até o doutoramento e que justifica as escolhas realizadas na composição dessa pesquisa.

Na **Introdução** apresentamos, de forma sucinta, uma prévia do que investigamos com os argumentos científicos que justificam a execução da pesquisa.

No Capítulo 1 – **Um olhar sobre a avaliação** – discorremos sobre o referencial teórico da avaliação apresentando, inicialmente, na primeira seção, as perspectivas gerais da avaliação com seus objetivos e fundamentos. Na segunda seção trouxemos os aspectos da avaliação externa, que são o foco desse estudo.

Dando continuidade a essa discussão, organizamos o Capítulo 2 – **Avaliações Externas: ENEM e PISA** no qual apresentamos as individualidades das duas avaliações externas analisadas, sendo que na primeira seção tratamos sobre **O programa internacional de avaliação: PISA** e na segunda discorremos sobre **O exame nacional de avaliação: ENEM**. Para finalizar, trazemos a proposta desse estudo com a **Integração entre o ENEM e o PISA**, discorrendo sobre o nosso problema de pesquisa e objetivos.

No capítulo 3 – **Caminhos da pesquisa** apresentamos o contexto da pesquisa e a opção metodológica de análise: a análise de conteúdo. Nesse momento situamos o leitor sobre cada uma das etapas dessa metodologia, fazendo relação com o que foi desenvolvido por nós, em cada uma delas. Em síntese, realizamos a análise das questões fazendo uso de categorias *a priori*, sendo elas três das quatro dimensões para o Letramento Científico: contexto, competência e conhecimento.

No capítulo 4 – **Conexões entre o ENEM e o PISA** apresentamos as análises quanto ao contexto, competência e conhecimento realizadas para as questões do ENEM e PISA, utilizando um quadro analítico que construímos com base nas dimensões para o Letramento Científico do PISA, e as relações que podemos estabelecer entre elas.

Para finalizar, descrevemos nas **Considerações** alguns pontos importantes das conexões estabelecidas entre as provas, e outros mais, decorrentes das análises. Ainda sugerimos outras questões a serem pesquisadas,

oriundas dessa trajetória.

CAPÍTULO 1 – UM OLHAR SOBRE A AVALIAÇÃO

Nesse capítulo, vamos trazer algumas discussões que respaldam a importância do estudo da avaliação nos processos de ensino e de aprendizagem. Na seção 1.1, vamos discutir alguns conceitos primordiais para se compreender o processo avaliativo, antes de aprofundarmos nas avaliações externas na seção 1.2.

1.1 PERSPECTIVAS GERAIS DA AVALIAÇÃO

Quando pensamos em avaliação, procuramos uma única definição, clara e exata. Contudo, as definições podem ser múltiplas:

Avaliar pode significar, entre outras coisas: verificar, julgar, estimar, situar, representar; determinar, dar um conselho ...

Verificar o que foi aprendido, compreendido, retido. Verificar as aquisições no quadro de uma progressão.

Julgar um trabalho em função das instruções dadas; julgar o nível de um aluno em relação ao resto da aula; julgar segundo normas preestabelecidas.

Estimar o nível de competência de um aluno.

Situar o aluno em relação as suas possibilidades, em relação aos outros; situar a produção do aluno em relação ao nível geral.

Representar, por um número, o grau de sucesso de uma produção escolar em função de critérios que variam segundo os exercícios e o nível da turma.

Determinar o nível de uma produção.

Dar uma opinião sobre os saberes ou o saber-fazer que um indivíduo domina; dar uma opinião respeitante ao valor de um trabalho (HADJI, 1994, p.27-28).

No âmbito escolar, a avaliação é definida por Sacristán (1998) como um processo no qual as características de um estudante, de um grupo de estudantes, de materiais, do ambiente escolar, professores e entre outros, tornam-se alvo de atenção de quem irá avaliar, baseados em alguns critérios que servem de referência para emitir um julgamento relevante para a educação.

Avaliar é interpretar os dados, fazer emergir sentido, e nessa missão o professor recebe o papel de avaliador, sendo aquele que deve produzir uma mensagem de retorno ao aluno, ou melhor, um *feedback* em resposta a sua tarefa com o intuito de fazer com que o aluno progrida em relação ao que o seu professor projetou para ele, já que ao criticá-lo, o professor pretende a princípio

ajudá-lo a melhorar o seu trabalho (BARLOW, 2006).

Para Hadji (1989, apud BARLOW, 2006) a avaliação consiste em conferir “um ‘valor’ – ou [...] um sentido – a uma situação real, à luz de uma situação desejada, com isso confrontando o campo da realidade concreta e o das expectativas, e, portanto, articulando uma referência e um referente” (p.17). Para isso, ela possui três funções: *certificar*, no sentido de conceder certificado ou diploma ao adquirir determinado conhecimento; *orientar* escolhendo as vias e modalidades de estudo mais apropriadas; e *regular* que seria acompanhar o processo de ensino aprendizagem procurando estratégias para os problemas e dificuldades apresentados (HADJI, 1994).

A avaliação dentro da escola é interpretada por nós como parte essencial do processo de ensino-aprendizagem, já que “ensinar, aprender e avaliar são, na realidade, três processos inseparáveis” (SANMARTÍ, 2009, p. 21). É por meio dela que conseguimos analisar como esse processo está acontecendo e como podemos interferir de forma que ele se torne efetivo. Ela deve permitir a

[...] interpretação da situação de aprendizagem em que se encontram os alunos para que então ocorra uma tomada de decisão visando eventual melhoria ou a mudança da situação revelada na avaliação, no que diz respeito principalmente à ocorrência da aprendizagem. (BROIETTI, 2013, p.10).

Concordamos com Broietti (2013) ao reconhecer a interpretação como uma etapa difícil do processo avaliativo, já que primeiramente é necessário um alicerce teórico que o sustente e permita definir o que é avaliar e qual a melhor forma para isso, além de inteirar-se dos encaminhamentos possíveis de serem adotados e só então realizar a interpretação do que está registrado. Desse modo “não há avaliação se não somos capazes de interpretar os dados, isto é, a avaliação é uma maneira de afirmar que os indicadores só podem significar algo com referência a critérios” (BROIETTI, 2013, p.17).

Para Lorna Earl (2013 apud PURCELL, 2014) existem três tipos de avaliação: *da aprendizagem* com a utilização de técnicas para atribuição de nota (avaliação somativa); *para a aprendizagem* com a utilização de técnicas que permitem informar o professor quanto à necessidade de modificar as suas estratégias de ensino para garantir o envolvimento dos alunos com a aprendizagem

(avaliação formativa); *como aprendizagem* é considerado um subconjunto da avaliação *para a aprendizagem* na qual os alunos se envolvem na metacognição, ou seja, o aluno reflete sobre a sua aprendizagem.

Carless (2007 *apud* PURCELL, 2014) ressalta a avaliação orientada para a aprendizagem, destacando os seus aspectos e não sua medição. Segundo ele, essa avaliação é constituída por três vertentes, sendo elas: a tarefa da avaliação como uma tarefa de aprendizagem que tem por objetivo fazer a aplicação do mundo real; envolvimento do aluno com a avaliação no intuito de direcioná-lo à compreensão dos objetivos, critérios e padrões da aprendizagem; dar aos alunos um *feedback* apropriado de tal forma que eles venham a agir com base nele.

Ela pode ser utilizada com diferentes finalidades e com meios variados. Nesse processo há uma etapa em que as informações são recolhidas, posteriormente são analisadas com a emissão de um juízo de valor sobre elas e, por fim, decisões são tomadas com base no juízo emitido (SANMARTÍ, 2009).

Quando essas decisões têm por finalidade constatar o nível de determinados conhecimentos em determinada etapa do processo de aprendizagem, ela é chamada de somativa. Quando o propósito é identificar as mudanças que devem ser introduzidas no processo de ensino para ajudar os alunos em seu próprio processo de construção do conhecimento, ela é chamada de formativa (SANMARTÍ, 2009).

Vianna assim se coloca sobre o assunto:

É necessário sempre pensar na *avaliação no contexto de um processo formativo*: - a avaliação para orientar os procedimentos docentes; a avaliação para sugerir novas estratégias eficientes de ensino que levem a uma aprendizagem que seja relevante para o aluno como pessoa humana; a avaliação como um fator de orientação de todo o processo docente, envolvendo não apenas conhecimentos, mas incluindo o despertar de novos interesses e a formação de valores; a avaliação como uma ponte que une professor e aluno visando a um processo interativo gerador de novas aprendizagens; a avaliação como fator capaz de gerar elementos que facilitem a superação dos problemas curriculares e que muitas vezes decorrem de conflitos entre a realidade da escola e o contexto sociocultural em que a mesma se situa. A avaliação, enfim, deve ser um *diálogo de todo o sistema com a sociedade* e do qual o professor participa, mostrando os resultados do seu

trabalho, inclusive reconhecendo possíveis erros, mas, ao mesmo tempo, procurando apresentar novas idéias para que a escola se revele uma instituição criativa que consegue superar os obstáculos da burocracia que muitas vezes a sufoca e envolve todo o sistema (VIANNA, 2003b, p.31-32).

Por vezes, ela parece ainda ser utilizada para fins de exercício de poder, assim como Locco (2005) afirma:

[...] é fundamental compreender que a avaliação é constituída em meio a tensões, a confrontos e interesses em jogo, sendo relevante portanto, estarmos atentos às formas de condução dos processos avaliativos, especialmente quando estes se materializam e ganham alcance através das políticas nacionais de avaliação (LOCCO, 2005, p.31).

Quanto à função do professor, devemos ressaltar que por vezes ele é o responsável por detectar as dificuldades e os acertos dos alunos, tomando as decisões nesse processo. Contudo, apenas o aluno pode corrigir seus erros e procurar meios adequados para a mudança. Com base nisso, temos a avaliação formadora:

A função dos professores deveria se centrar, assim, em compartilhar com os alunos este processo avaliativo. Não é suficiente que aquele que ensina “corrija” os erros e “explique” a visão correta, deve ser o próprio aluno quem se avalia, propondo-se atividades com esse objetivo específico. Tal avaliação é chamada de avaliação formadora (SANMARTÍ, 2009, p.19-20).

Nesse princípio de avaliação centrado no estudante, ressaltamos a necessidade de a avaliação acontecer durante todo o processo de ensino-aprendizagem. Com base nisso, Sanmartí (2009) ressalta três momentos-chave do processo de ensino no qual a avaliação formativa tem finalidades e características próprias:

1. A avaliação inicial: é a avaliação diagnóstica que tem por objetivo analisar a situação de cada aluno como ponto de partida dentro dos processos de ensino e de aprendizagem, para adequá-lo de acordo com as necessidades dos estudantes. Devemos conhecer as atitudes, representações, condutas e as maneiras de raciocinar próprias de cada aluno em cada momento, chamadas por Halwachs (1975, *apud* SANMARTÍ, 2009) de estrutura de acolhida. Dessa forma, avaliar inicialmente é avaliar tudo que faz parte das estruturas de

acolhida: concepções alternativas, pré-requisitos de aprendizagem, experiências pessoais, hábitos e atitudes, estratégias espontâneas de raciocínio e o campo semântico do vocabulário utilizado.

2. A avaliação enquanto se está aprendendo: é a avaliação mais importante para os resultados da aprendizagem, “a qualidade de um processo de ensino depende, em boa parte, de se conseguir ajudar os alunos a superarem os obstáculos em espaços de tempo pequenos no momento em que são detectados” (SANMARTÍ, 2009, p. 33).

3. A avaliação final: é realizada ao término de determinado conteúdo e tem por finalidade averiguar o que não foi interiorizado pelo aluno e que pode se tornar um obstáculo nos processos de ensino e de aprendizagem, além de determinar os aspectos a serem modificados na sequência do ensino.

Outra avaliação, não menos importante, é a chamada de qualificadora. Ela tem por intuito pôr à prova e constatar resultados, enquanto a avaliação formativa tem por intuito sustentar o processo de aprendizagem. Perrenoud (2001, *apud* SANMARTÍ, 2009) destaca essa diferença:

A avaliação formativa segue uma lógica de regulação se seu enfoque for a sustentação do processo de aprendizagem e a aproximação do aluno aos objetivos de formação. Ela se inscreve em uma relação de ajuda, um contrato de confiança, um trabalho cooperativo.

Por outro lado, a avaliação qualificadora é vista como um “último veredicto”. Influencia o final de uma etapa, de um curso, de uma unidade didática e, nesse estágio, já não resta tempo para aprender mais, é o momento do balanço, a hora da verdade. O relatório do avaliador é, então, menos cooperativo, posto que seus interesses são divergentes. O avaliador quer estabelecer, de maneira o máximo realista e precisa, o nível de conhecimentos e de competências alcançado pelo aluno, enquanto este se ilude. A avaliação qualificadora é, pois, uma variação do jogo de gato e rato (p.77).

A inconsistência está na maioria das questões que compõem a avaliação qualificadora, que ao invés de estimularem os alunos a pensarem, a estabelecerem relações, a deduzirem, a hierarquizarem e a serem criativos, por vezes exigem apenas que o aluno memorize determinado conceito para o momento da prova. Essas questões não são desafiadoras e por isso não permitem ao aluno sentir prazer em seu conhecimento (SANMARTÍ, 2009).

De maneira oposta, deveriam avaliar competências já que exige do aluno muitos saberes que, se comprovados, permitirão ao mesmo prazer e estímulo por continuar aprendendo (SANMARTÍ, 2009). Assim é realizado no programa PISA, que iremos discutir no capítulo 2.

Nosso foco é na avaliação qualificadora de natureza externa, e por isso aprofundamos nossas discussões no tópico que segue.

1.2 ASPECTOS DA AVALIAÇÃO EXTERNA

Em relação às finalidades diversas das avaliações, elas podem ser definidas em externas ou internas: a avaliação externa é aquela realizada em larga escala com o propósito de averiguar o desempenho dos alunos pelos programas curriculares e instrucionais e são praticadas por instituições oficiais; já a avaliação interna é aquela realizada pelo professor em sala de aula na qual ele decidirá sobre a passagem entre níveis, cursos e titulações (SACRISTÁN, 1998).

Para compreender a trajetória das avaliações externas no Brasil, vamos retornar ao início da década de 1960, período em que surgiram as preocupações com os processos avaliativos escolares, tanto que profissionais da educação receberam formação na área de avaliação e rendimento escolar (GATTI, 2009).

Nesse período (1966), na Fundação Getúlio Vargas, no Rio de Janeiro, surgiu o Centro de Estudos de Testes e Pesquisas Psicológicas (CETPP) que elaborou um conjunto de provas objetivas das diversas áreas (Linguagens, Matemática, Ciências Físicas e Naturais e Estudos Sociais), além de um questionário sobre características socioeconômicas a ser aplicado aos alunos das séries finais do ensino médio (GATTI, 2009).

Por volta de 1970 foi realizado um estudo avaliativo de porte, no Brasil e em outros países da América Latina, pelo Programa de Estudos Conjuntos de Integração Econômica Latino-americana (ECIEL), com o intuito de determinar os níveis de escolaridade e rendimento escolar de alunos que apresentam características pessoais e socioeconômicas diferentes. Esse estudo era composto

por um questionário para levantamento de dados sobre a situação socioeconômica, atitudes e aspirações em relação ao processo escolar e um exame de compreensão de Ciências e Leitura. Ainda nesse período foi realizado um estudo com crianças de todas as regiões geográficas do país das primeiras séries do ensino fundamental, abrangendo Leitura, Escrita e Matemática (GATTI, 2009).

Durante a década de 1980, uma avaliação realizada pelo projeto EDURURAL, um projeto de educação desenvolvido em todos os estados do Nordeste brasileiro, foi um marco em relação ao desenvolvimento de estudos de avaliação de políticas e programas envolvendo não só estudos de rendimento escolar, mas variados fatores. De 1982 a 1986 avaliaram-se as formas de gerenciamento geral do projeto e, por amostra, o gerenciamento local, analisando-se os professores, as Organizações Municipais de Ensino, o sistema de monitoria, as famílias, os alunos (GATTI, 2009).

Os resultados dessas avaliações tiveram várias consequências sobre as políticas vigentes já que os resultados permitiam compreender qual o problema das escolas que estavam junto a assentamentos de pessoal sem-terra ou o que acontecia com a escola que se situava na própria casa da professora. Por sua organização metodológica clara e por seus cuidados de coleta e análise, “representou um exemplo do que se poderia fazer com estudos dessa natureza na direção de se propugnar por uma escola mais condizente com as necessidades das populações menos favorecidas socialmente” (GATTI, 2009, p.10).

Próximo a 1980, o debate que prevalecia entre os pesquisadores da área da educação era referente ao alto índice de fracasso escolar sinalizado pela repetência e evasão na educação básica, e uma questão importante é que não possuíam dados sobre o rendimento escolar dos alunos em nível de sistema e os fatores a ele associados. Foi então que o MEC iniciou uma discussão em grupo, ressaltando que com a mudança da Constituição, seria necessário a mudança na atuação do Ministério da Educação em relação à educação básica, conduzindo-o a um papel avaliador e orientador como referencial para políticas e avanços na área da educação (GATTI, 2009).

Na década de 1990 aconteceu a Conferência de Jomtien¹, considerada um marco internacional na necessidade de realizar as avaliações externas. Seus resultados foram citados nos objetivos da educação brasileira, sendo eles: a garantia do ensino a todos e a diminuição dos índices de evasão, repetência e não acesso à escola, ressaltando a importância da universalização da escola e a erradicação do analfabetismo (BROIETTI, 2013)

Isso culminou na “Declaração Mundial sobre Educação para todos” que apresentava os problemas vivenciados na escola ou pela falta dela com o intuito de ressaltar as ações e metas para suprir as necessidades básicas em relação à aprendizagem de um indivíduo.

O documento resalta os seguintes aspectos:

1. Cada pessoa – criança, jovem ou adulto – deve estar em condições de aproveitar as oportunidades educativas voltadas para satisfazer suas necessidades básicas de aprendizagem. Essas necessidades compreendem tanto os instrumentos essenciais para a aprendizagem (como a leitura e a escrita, a expressão oral, o cálculo, a solução de problemas), quanto os conteúdos básicos da aprendizagem (como conhecimentos, habilidades, valores e atitudes), necessários para que os seres humanos possam sobreviver, desenvolver plenamente suas potencialidades, viver e trabalhar com dignidade, participar plenamente do desenvolvimento, melhorar a qualidade de vida, tomar decisões fundamentadas e continuar aprendendo. A amplitude das necessidades básicas de aprendizagem e a maneira de satisfazê-las variam segundo cada país e cada cultura e, inevitavelmente, mudam com o decorrer do tempo (UNESCO, 1998, Artigo 1).

Com a finalidade de indicar o desempenho educacional, as *provas em massa* (expressão traduzida do espanhol e que se refere ao que chamamos de *avaliações em grande escala*) permitem a realização de uma comparação na melhoria da aprendizagem dentro de um país ou entre vários deles. Contudo, ao realizar essas comparações, o desenvolvimento do processo de aprendizagem dos alunos fica em oculto. O objetivo dessas provas é reconhecer os níveis de aprendizagem dos alunos (ressaltamos aqui que a ênfase é no resultado final da aprendizagem, ocultando todo o processo trilhado para se chegar até ali) e comparar a qualidade dos sistemas educacionais e das instituições escolares por

¹ 5Conferência Mundial sobre Educação para Todos que aconteceu em Jomtien na Tailândia, tendo com meta primordial a revitalização do compromisso mundial de educar todos os cidadãos.

meio dos resultados dos estudantes nesses exames (DÍAZ BARRIGA, 2006).

Para a realização dessas avaliações, há várias agências organizadoras nacionais e internacionais que estruturam as avaliações com pressupostos conceituais distintos, ou seja, cada teste irá avaliar um tributo diferente. Isso nos obriga a não generalizar os seus resultados (DÍAZ BARRIGA, 2006), mas nos permite discutir seus itens sob diferentes perspectivas, e é isso que iremos realizar na presente pesquisa.

Segundo o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP, 2020), o objetivo da avaliação em larga escala federal é produzir informações educacionais para que os órgãos governamentais acompanhem o desenvolvimento da educação nacional, mediante “[...] um diagnóstico da educação básica brasileira e de fatores que podem interferir no desempenho do estudante” (INEP, 2020, n.p.). Além do fornecimento de “[...] subsídios para a elaboração, o monitoramento e o aprimoramento de políticas educacionais com base em evidências” (INEP, 2020, n.p.) pelas escolas e pelas redes municipais e estaduais de ensino de todo o país e possibilitar a avaliação “[...] da qualidade da educação oferecida aos estudantes” (INEP, 2020, n.p.).

Se forem conduzidas com metodologias apropriadas e se distanciarem de perspectivas reducionistas de formação, elas podem fornecer resultados relevantes quanto ao trabalho dos professores, a conduta dos alunos, as condições de trabalho e o funcionamento da escola (FREITAS *et al.*, 2009). Todavia, é necessário que o dado resultante das avaliações seja legitimado como parte da escola, compreendendo que o processo de medir ocasiona um dado, mas que isso não é avaliar, avaliar é refletir sobre os dados pensando no futuro (FREITAS *et al.*, 2009).

Um dos problemas destacados por alguns autores (VIANNA, 2003b; IVO, HYPOLITO, 2017) quando se trata de avaliações externas em nosso país, diz respeito à padronização descontextualizada dessas avaliações, sem levar em consideração a etnia, nível social e econômico, o que acaba por ocultar ou reproduzir as desigualdades, já que ao propor “[...] políticas ‘iguais’ para atingir metas ‘desiguais’ [...] faz com que as metas proposta[s] não sejam atingidas para

todas as escolas e todos os estudantes, já que alguns convivem com contextos desfavoráveis” (IVO; HYPOLITO, 2017, p. 806).

Além disso, a inclusão de alunos com necessidades especiais na escola pressupõe que eles possam participar de todas as atividades desenvolvidas no âmbito escolar e que as avaliações em larga escala se revelam como uma prática excludente, já que esses alunos por vezes não realizam a avaliação (SANTIAGO; SANTOS; MELO, 2017) ou a escola comunica “[...] aos responsáveis pelas crianças com necessidades educativas especiais que elas podem permanecer em casa nos dias dos exames externos” (FERNANDES; NAZARETH, 2018, p. 893) para evitar que eles prejudiquem o rendimento da escola nesses exames, sempre na busca pelo aumento do índice, desconsiderando a seguinte premissa: “Todos os seres humanos têm condições de realizar diversos tipos de aprendizagem e estruturar novos comportamentos desejáveis” (VIANNA, 2003b, p.29).

Além disso, nossos exames não contemplam provas práticas, orais ou avaliações observacionais. Não temos em nosso país um quadro avaliativo que contemple as diferentes dimensões dos alunos, mas sim uma métrica do que se supõe medir, o que implica em não avaliar muitas competências e habilidades importantes no mundo atual, comprometendo a definição do quadro educacional brasileiro (VIANNA, 2003a).

Outras críticas são apresentadas por Becker (2010), ressaltando a necessidade do estabelecimento de uma ligação entre a avaliação e a ação, a falta de união entre os atores do sistema educacional e os modelos de divulgação dos resultados, visto que os resultados são divulgados de forma técnica e complexa para a compreensão do público em geral.

Ainda concernente aos resultados, “[...] as avaliações externas e centralizadas, para gerar impactos diferenciados nas redes e escolas, devem considerar que é de sua ‘inteira responsabilidade’ pensar, realizar, acompanhar, avaliar e redefinir as políticas públicas” (AMARO, 2013, p.52).

A importância de estudar essas avaliações se dá “pela exigência de instrumentos mais precisos para a adequada leitura do ensino nas instituições, aliado ao compromisso com a qualidade da educação e a necessidade de conhecer

o público interno e as variáveis externas” (BROIETTI; SANTIN FILHO; PASSOS, 2014, p.240)

Para compreender melhor o nosso trabalho, discutimos individualmente, na sequência, os fundamentos que norteiam essas duas avaliações externas: ENEM e PISA.

CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÕES EXTERNAS: ENEM E PISA

Nesse capítulo, discorreremos sobre as avaliações externas que são o foco da nossa pesquisa: ENEM e PISA. Nele expomos as bases que fundamentam cada um dos exames.

2.1 O PROGRAMA INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO: PISA

O PISA (Programme for International Student Assessment ou Programa Internacional para a Avaliação de Alunos) é uma avaliação internacional que surgiu no ano de 2000 e é realizada a cada três anos pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) ou Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), com o intuito de medir o nível educacional de jovens com idade entre 15 e 16 anos, no momento da aplicação do teste, matriculados em uma instituição educacional a partir do sétimo ano, próximos a concluírem a educação básica e prosseguirem na vida adulta.

Participam dessa avaliação de 4.500 a 10.000 estudantes de cada país participante, com o intuito de propiciar uma maior segurança nos resultados apresentados (OCDE, 2007). Contudo, pela dimensão geográfica do Brasil, a partir de 2009 esse número aumentou para em média 20.000 estudantes, com o intuito de garantir uma amostra que melhor representasse a realidade brasileira.

Para isso, uma prova é organizada focalizando as áreas de Ciências, Leitura e Matemática, sendo que a cada ciclo, uma das áreas cognitivas é o foco principal com a maior parte dos itens centrados nela, investigando diferentes domínios a cada ano: letramento em Leitura, letramento em Matemática e letramento Científico, que podem assim ser definidos:

- *Letramento em Leitura* é definido como a capacidade de compreender, usar, avaliar, refletir sobre e envolver-se com textos, a fim de alcançar um objetivo, desenvolver conhecimento e potencial e participar da sociedade.
- *Letramento em Matemática* é definido como a capacidade de formular, empregar e interpretar a matemática em uma série de contextos, o que inclui raciocinar matematicamente e utilizar conceitos, procedimentos, fatos e ferramentas matemáticos para descrever, explicar e prever fenômenos.

- *Letramento Científico* é definido como a capacidade de se envolver com as questões relacionadas à ciência e à ideia de ciência, como cidadão reflexivo. Uma pessoa letrada cientificamente está disposta a participar de discussão fundamentada sobre ciência e tecnologia, o que exige as competências para explicar fenômenos, avaliar e planejar investigações e interpretar dados e evidências cientificamente (INEP, 2020, p. 24).

No que tange aos objetivos, o intuito é “[...] o desenvolvimento de um corpo de informações para o monitoramento de conhecimentos e habilidades dos estudantes em vários países, bem como em diferentes subgrupos demográficos de cada país” (OECD, 2016a, p.19). Quanto à avaliação dos estudantes, o intuito é investigar o que eles são capazes de fazer com o conhecimento que possuem, em situações não familiares:

O PISA não apenas avalia se os alunos conseguem reproduzir conhecimentos, mas também até que ponto eles conseguem extrapolar o que aprenderam e aplicar esses conhecimentos em situações não familiares, tanto no contexto escolar como fora dele. Essa perspectiva reflete o fato de que as economias modernas recompensam os indivíduos não apenas pelo que sabem, mas cada vez mais pelo que conseguem fazer com o que sabem (OCDE, 2019, p.15).

Já os resultados, esses são utilizados para avaliar os conhecimentos e habilidades dos alunos de cada país, comparar a economia, estabelecer melhorias na educação e a possibilidade de uma compreensão dos sistemas educacionais.

Diferentes questionários são distribuídos aos pais, alunos, professores e diretores, com o intuito de conhecer a realidade do lar dos alunos, seus ambientes de aprendizagem e as suas abordagens para aprender. Por meio desses questionários, o PISA também reúne informações sobre os antecedentes do lar dos alunos, suas abordagens para aprender e seus ambientes de aprendizagem (OECD, 2016a).

Uma sistematização dos instrumentos avaliados, a área foco a cada edição e os questionários aplicados é apresentada, na sequência, para termos conhecimento de como essa avaliação vem sendo desenvolvida no Brasil.

Quadro 1 – Sistematização dos instrumentos utilizados no Brasil com destaque

para o domínio principal de cada edição

PISA	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Testes cognitivos	Leitura	Leitura	Leitura	Leitura	Leitura	Leitura	Leitura
	Matemática	Matemática	Matemática	Matemática	Matemática	Matemática	Matemática
	Ciências	Ciências	Ciências	Ciências	Ciências	Ciências	Ciências
						Resolução colaborativa de problemas	
						Letramento financeiro	Letramento financeiro
Questionários	Estudante – Geral	Estudante – Geral	Estudante – Geral	Estudante – Geral	Estudante – Geral	Estudante – Geral	Estudante – Geral
	Escola	Escola	Escola	Escola	Escola	Escola	Escola
						Estudante – Familiaridade com tecnologia da informação e comunicação (TIC)	Estudante – Familiaridade com tecnologia da informação e comunicação (TIC)
							Bem-Estar
							Carreira Educacional
						Professor	Professor
							Pais

Fonte: Inep (2020, p.23), com base em OCDE.

Ao analisarmos o quadro 1, podemos perceber que ao longo das edições a quantidade de testes e questionários cresceu com a finalidade de traçar com mais detalhes um perfil dos conhecimentos e habilidades dos alunos; a relação das habilidades com variáveis sociais, econômicas, educacionais e demográficas; e os indicadores de “tendências que mostram mudanças nos níveis de resultados e distribuições, e nas relações entre as variáveis de fundo e os resultados do nível do aluno, nível escolar e do sistema” (OECD, 2016a, p.10, tradução nossa).

Em síntese, os instrumentos do PISA têm por objetivo fornecer três tipos de resultados:

- Indicadores que fornecem um perfil básico de conhecimento e habilidades dos estudantes.

- Indicadores derivados de questionários que mostram como tais habilidades são relacionadas a variáveis demográficas, sociais, econômicas e educacionais.
- Indicadores de tendências que acompanham o desempenho dos estudantes e monitoram os sistemas educacionais ao longo do tempo (INEP, 2020, p. 23).

Essas avaliações são realizadas em computador, no Brasil, desde 2012, por meio de uma plataforma de aplicação off-line, e em papel para aqueles países que não podem testar pelo computador. Têm duração de duas horas (uma hora para realizar as questões do domínio escolhido para o presente ano, e meia hora para cada uma das outras áreas), sendo compostas por questões nas quais os alunos devem construir uma resposta e por questões de múltipla escolha, e são construídas pensando em alguns domínios que enfatizam os conhecimentos e habilidades que permitam a participação em sociedade. São esses os domínios:

Quadro 2 – Definições dos Domínios

Definições dos domínios

Letramento científico: a capacidade de se envolver com questões relacionadas com a ciência e com as ideias da ciência, como um cidadão reflexivo. Uma pessoa cientificamente alfabetizada está disposta a se envolver em um discurso fundamentado sobre ciência e tecnologia, que exige as competências para:

- Explicar cientificamente os fenômenos - reconhecer, oferecer e avaliar explicações para uma variedade de fenômenos naturais e tecnológicos.
- Avaliar e projetar investigação científica - descrever e avaliar as investigações científicas e propor maneiras de abordar questões cientificamente.
- Interpretar dados e evidências cientificamente - analisar e avaliar dados, reivindicações e argumentos em uma variedade de representações e tirar conclusões científicas apropriadas.

Letramento em leitura: capacidade de um indivíduo para compreender, usar, refletir e envolver com textos escritos, para atingir os objetivos, desenvolver o conhecimento e potencial e participar da sociedade.

Letramento matemático: capacidade de um indivíduo para formular, empregar e interpretar a matemática em uma variedade de contextos. Inclui o raciocínio matemático e utilizando conceitos matemáticos, procedimentos, fatos e ferramentas para descrever, explicar e prever fenômenos. Ele auxilia os indivíduos a reconhecer o papel que a matemática desempenha no mundo e a fazer os julgamentos e decisões bem fundamentados necessários por cidadãos construtivos, envolvidos e reflexivos.

Fonte: OECD, 2016a, p.13 (tradução nossa)

As avaliações de Ciências realizadas ao longo dos anos têm por objetivo avaliar o letramento científico de um indivíduo sendo que “tornar-se letrado

cientificamente envolve a ideia de que os propósitos da educação na ciência devem ser amplos e aplicados” (OECD, 2013, p.3).

Dessa forma:

O letramento científico requer não apenas o conhecimento de conceitos e teorias da ciência, mas também o conhecimento sobre os procedimentos e práticas comuns associadas à investigação científica e como eles possibilitam o avanço da ciência. Assim, indivíduos que são cientificamente letrados têm o conhecimento das principais concepções e ideias que formam a base do pensamento científico e tecnológico; de como tal conhecimento foi obtido e do grau em que tal conhecimento é justificado por evidência ou explicações teóricas (OECD, 2013, p.4).

Ser alfabetizado ou letrado cientificamente não quer dizer que todos serão transformados em especialistas científicos, mas que serão capazes de compreender as implicações sociais e tomar decisões esclarecidas sobre o meio ambiente (EUROPEAN COMMISSION, 1995).

Contudo, as definições de letramento científico mudaram, de forma a se aproximar cada vez mais das nossas necessidades diárias:

Nos ciclos de 2000 e de 2003 do PISA, o letramento científico foi descrito como “a capacidade de usar o conhecimento científico para identificar questões e tirar conclusões baseadas em evidências, a fim de compreender e ajudar a tomar decisões sobre o mundo natural e as mudanças feitas a ele por meio da atividade humana”. Em 2006, primeiro ciclo no qual o domínio ciências foi o foco do estudo, desdobrou-se o termo “conhecimento científico” em dois componentes: “conhecimento de ciências” e “conhecimento sobre ciências”. Nesse ciclo, reforçou-se o conceito com a adição do conhecimento da relação entre ciência e tecnologia – aspecto que havia sido assumido na descrição de 2003, embora não incorporado explicitamente a ela. A definição de letramento científico praticamente não mudou nos ciclos de 2009 e 2012, mas em 2015, novo ciclo no qual o domínio ciências aparece no foco do estudo, sofreu algumas alterações que representam a evolução das ideias apresentadas nos ciclos anteriores. A principal diferença é que a noção de “conhecimento sobre ciências” foi explicitada com base em sua divisão em dois componentes: “conhecimento procedimental” e “conhecimento epistemológico” (OECD, 2016, p. 36).

Quanto às expressões “letramento científico” e “Alfabetização Científica”, utilizados anteriormente, temos ciência de que há um impasse quanto à utilização desses termos por diferentes autores que adotam: “compreensão pública da ciência”, “cultura científica”, “literacia científica”, “Alfabetização Científica”

(TENREIRO VIEIRA; VIEIRA, 2013), “letramento científico” e “enculturação científica” (SASSERON, CARVALHO, 2011). Optamos por adotar o termo Letramento Científico, pois os documentos redigidos pelo INEP e OCDE para a discussão do PISA fazem referência a esse termo.

Assim, admitimos que a pluralidade existe, mas que os objetivos no ensino de Ciências são os mesmos: “a formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 60).

No PISA, o Letramento Científico é definido com base em quatro principais dimensões ou componentes: CONTEXTO (pessoais, locais/nacionais e globais, atuais e históricas), CONHECIMENTO (conteúdo, procedimental e epistêmico), COMPETÊNCIAS (a capacidade de avaliar e projetar pesquisas científicas, explicar cientificamente os fenômenos e interpretar dados e evidências cientificamente) e ATITUDES. Para explicitar esses aspectos, apresentamos o Quadro 3.

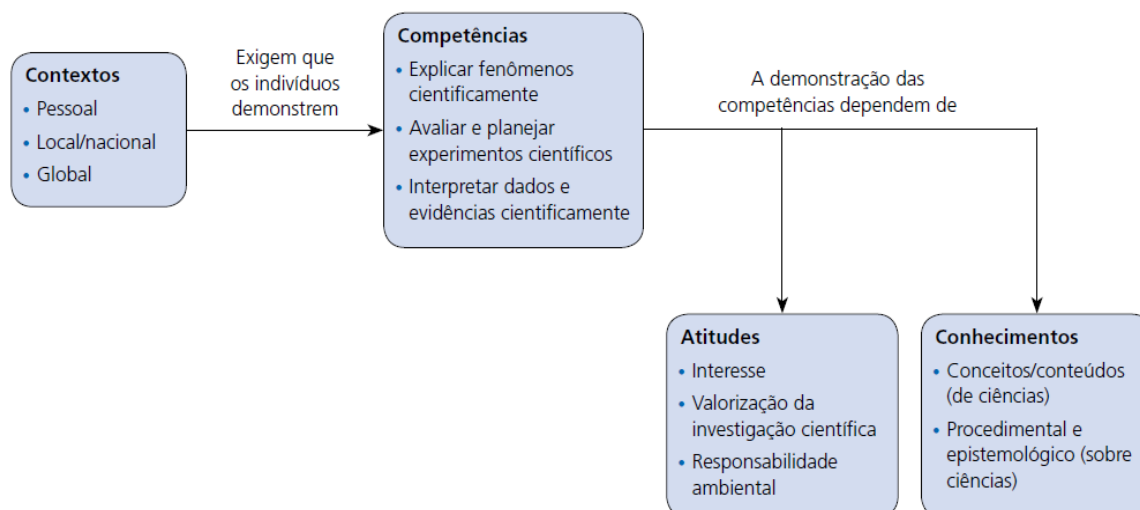
Quadro 3 - Aspectos do quadro de avaliação do Letramento Científico para o PISA 2015

<u>Aspectos</u>	<u>Descrição</u>
Contextos	Questões pessoais, locais / nacionais e globais, atuais e históricas, que exigem alguma compreensão da ciência e tecnologia
Conhecimento	Uma compreensão dos principais fatos, conceitos e teorias explicativas que constituem a base do conhecimento científico. Tal conhecimento inclui o conhecimento do mundo natural e dos artefatos tecnológicos (conhecimento do conteúdo), o conhecimento de como essas ideias são produzidas (conhecimento processual) e uma compreensão do raciocínio subjacente a estes procedimentos e justificação para o seu uso (conhecimento epistêmico)
Competências	A capacidade de explicar fenômenos cientificamente, avaliar e projetar investigação científica e interpretar dados e evidências cientificamente
Atitudes	Um conjunto de atitudes em relação à ciência indicadas pelo interesse pela ciência e pela tecnologia, valorizando as abordagens científicas do inquérito quando apropriado e uma percepção e conscientização sobre questões ambientais

Fonte: OECD, 2016a

A inter-relação dessas dimensões do letramento científico (contexto, competências, conhecimento e atitude) foram sintetizadas em uma figura apresentada na sequência.

Figura 1 - As inter-relações entre as dimensões do letramento científico



Fonte: INEP (2016)

Essas dimensões serão utilizadas como referencial para a análise das questões e por isso serão discutidas, com mais detalhes, no capítulo 2.

Quanto aos resultados da prova, há duas formas de divulgação: as médias das proficiências dos países participantes e o percentual de estudantes em cada nível da escala de proficiência. Essa escala é composta por sete níveis organizados pelo grau de dificuldade com a descrição do conhecimento e habilidade demonstrados pelo estudante e o percentual de estudantes brasileiros que compõem cada nível, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Níveis da escala de proficiência de Ciências, descrição dos conhecimentos e habilidades demonstrados e percentual de estudantes brasileiros em cada nível, no PISA 2015 e 2018

Nível	Conhecimentos e habilidades demonstrados	Percentual de estudantes brasileiros	Percentual de estudantes brasileiros

		no nível em 2015	no nível em 2018
6	<p>No nível 6, os estudantes podem recorrer a uma série de ideias e conceitos científicos interligados de física, das ciências da vida, da Terra e do espaço e usar conhecimentos de conteúdo, procedimental e epistemológico para formular hipóteses explicativas para novos fenômenos científicos, eventos e processos, ou para fazer suposições. Ao interpretar dados e evidências, eles conseguem fazer a discriminação entre informação relevante e irrelevante e podem recorrer a conhecimento externo ao currículo escolar.</p> <p>Podem fazer a distinção entre argumentos baseados em teorias e em evidência científica dos baseados em outros fatores. Os estudantes do nível 6 podem avaliar projetos concorrentes de experimentos complexos, estudos de campo ou simulações e justificar suas escolhas.</p>	0,002	0,0
5	<p>No nível 5, os estudantes podem usar ideias ou conceitos científicos abstratos para explicar fenômenos incomuns e mais complexos, eventos e processos que envolvam relações causais múltiplas. Eles conseguem aplicar conhecimento epistemológico mais avançado para avaliar projetos experimentais alternativos, justificar suas escolhas e usar conhecimento teórico para interpretar informações e fazer suposições. Os estudantes do nível 5 podem avaliar formas de explorar um dado problema cientificamente e identificar limitações na interpretação de dados, incluindo fontes e os efeitos de incerteza dos dados científicos.</p>	0,65	0,8
4	<p>No nível 4, os estudantes conseguem usar conhecimento de conteúdo mais complexo e mais abstrato, proporcionado ou recordado, para construir explicações de eventos e processos mais complexos ou pouco conhecidos. Podem conduzir experimentos que envolvem duas ou mais variáveis independentes em contextos restritos. Conseguem justificar um projeto experimental recorrendo a elementos de conhecimento</p>	4,22	4,6

	procedimental e epistemológico. Os estudantes do nível 4 podem interpretar dados provenientes de conjunto de dados moderadamente complexo ou de contexto pouco conhecido, chegar a conclusões adequadas que vão além dos dados e justificar suas escolhas.		
3	No nível 3, os estudantes podem recorrer a conhecimento de conteúdo de moderada complexidade para identificar ou formular explicações de fenômenos conhecidos. Em situações mais complexas ou menos conhecidas, podem formular explicações desde que com apoio ou dicas. Podem recorrer a elementos de conhecimento procedimental e epistemológico para realizar um experimento simples em contexto restrito. Os estudantes do nível 3 conseguem fazer a distinção entre questões científicas e não científicas e identificar a evidência que apoia uma afirmação científica.	13,15	13,9
2	No nível 2, os estudantes conseguem recorrer a conhecimento cotidiano e a conhecimento procedimental básico para identificar uma explicação científica adequada, interpretar dados e identificar a questão abordada em um projeto experimental simples. Conseguem usar conhecimento científico básico ou cotidiano para identificar uma conclusão válida a partir de um conjunto simples de dados. Os estudantes do nível 2 demonstram ter conhecimento epistemológico básico ao conseguir identificar questões que podem ser investigadas cientificamente.	25,36	25,3
1a	No nível 1a, os estudantes conseguem usar conhecimento de conteúdo e procedimental básico ou cotidiano para reconhecer ou identificar explicações de fenômenos científicos simples. Com apoio, eles conseguem realizar investigações científicas estruturadas com no máximo duas variáveis. Conseguem identificar relações causais ou correlações simples e interpretar dados em gráficos e em imagens que exigem baixo nível de demanda cognitiva. Os estudantes do nível 1a podem selecionar a melhor explicação científica para um determinado dado em	32,37	31,4

	contextos global, local e pessoal.		
1b	No nível 1b, os estudantes podem usar conhecimento científico básico ou cotidiano para reconhecer aspectos de fenômenos simples e conhecidos. Conseguem identificar padrões simples em fontes de dados, reconhecer termos científicos básicos e seguir instruções explícitas para executar um procedimento científico.	19,85	19,9
Abaixo de 1b	A OCDE não especifica as habilidades desenvolvidas.	4,38	4,0

Fonte: OECD, 2016a e INEP, 2018. Elaboração dos autores.

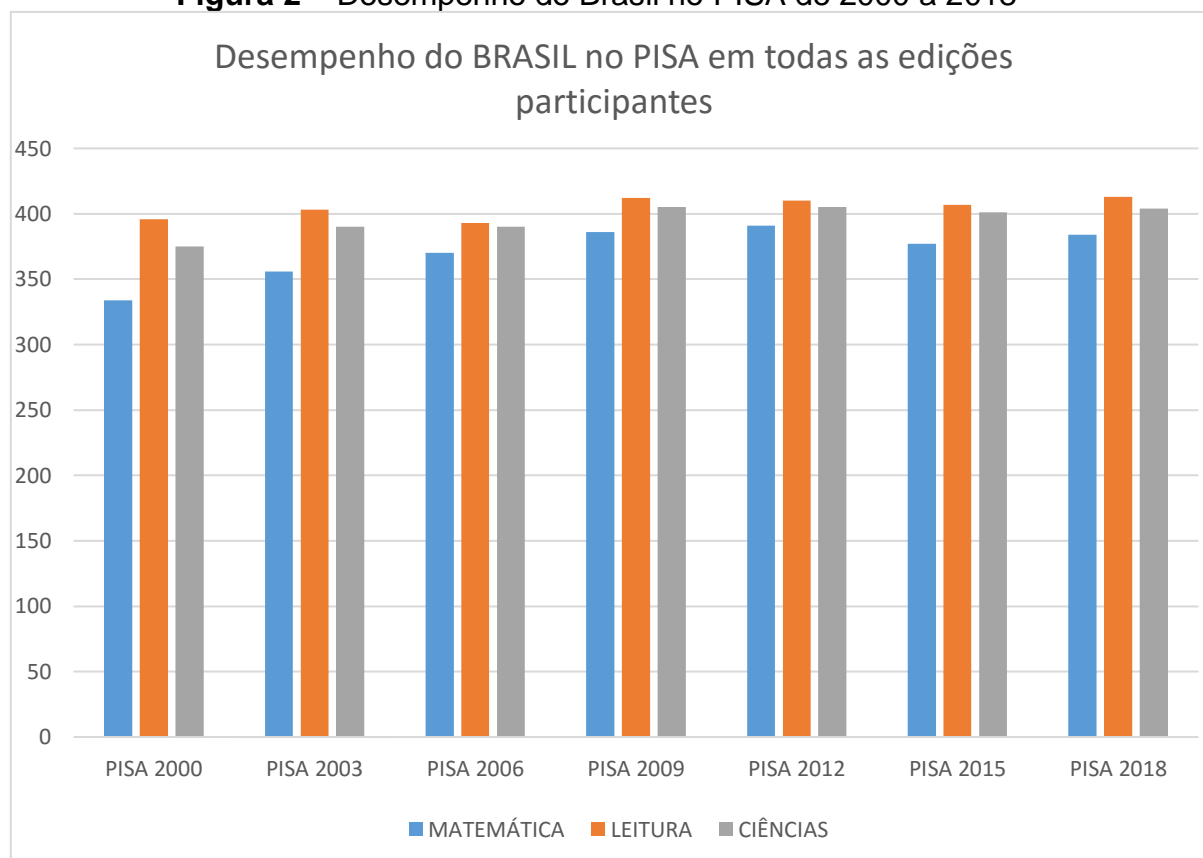
Quanto aos resultados da prova PISA 2015 no qual o enfoque foi Ciência, o desempenho dos alunos no Brasil está abaixo da média dos alunos em países da OCDE: em Ciências (401 pontos, comparados à média de 493 pontos), em leitura (407 pontos, comparados à média de 493 pontos) e em Matemática (377 pontos, comparados à média de 490 pontos). Já em 2018 os resultados da prova PISA foram esses: em Ciências 404 pontos, comparados à média de 489 pontos, colocando o nosso país na faixa de 64^o e 67^o posição no ranking; em leitura 413 pontos, comparados à média de 487 pontos colocando o Brasil na faixa de 55^o e 59^o posição no ranking; e em Matemática 384 pontos, comparados à média de 492 pontos colocando o nosso país na faixa 69^o e 72^o do ranking (OECD, 2019). Ao averiguar esses números, é notório que mesmo de forma insuficiente e distante de atingir a média, a pontuação aumentou nas três áreas do conhecimento, nas provas de 2015 a 2018.

Ao analisarmos pontualmente os resultados do último exame, eles revelam baixo desempenho escolar em Leitura, Matemática e Ciências no Brasil: 50% dos jovens não atingiram o mínimo de proficiência necessária em leitura até a conclusão do ensino médio, o que coloca os estudantes dois anos e meio abaixo dos países da OCDE em relação ao nível de escolarização, e como o segundo pior do ranking sul-americano; 68,1% dos estudantes possuem o pior nível de proficiência, não possuindo o nível básico em Matemática, com três anos e meio abaixo dos países da OCDE e classificado como o pior país em Matemática da América do Sul, analisado pelo PISA; em Ciências, 55% não atingiram o nível básico, permanecendo três anos atrás dos países da OCDE, sendo classificado

novamente com o pior país da América do Sul (INEP, 2019). Esses dados revelam “incapacidade na compreensão de textos e na resolução de cálculos e questões científicas simples e rotineiras” (INEP, 2019).

Organizamos esse gráfico que apresenta o desempenho do Brasil nas diferentes áreas do conhecimento ao longo dos anos, desde o primeiro exame realizado:

Figura 2 – Desempenho do Brasil no PISA de 2000 a 2018



Fonte: o próprio autor.

Ainda que de forma modesta, podemos considerar que os resultados das diferentes áreas oscilaram por alguns momentos, mas resultaram em um saldo positivo desde o início da realização dos exames.

Outro ponto relevante é que no PISA de 2015, 56,6% dos estudantes estão abaixo do nível 2, e em 2018 esse valor diminuiu para 55,3%. Isso significa que a porcentagem de jovens que têm condições plenas de exercer sua cidadania aumentou sutilmente, já que o nível 2 é referência nesse quesito pela OCDE.

A concentração nesses níveis mais baixos deve-se a um conjunto de fatores entre eles “as próprias descrições desses níveis mais basais das escalas de proficiência fazerem referência a conhecimentos mais escolarizados e a ações cognitivas mais familiares ao universo escolar” (MEDEIROS; JALOTO; SANTOS, 2017, p.532). Já as descrições dos níveis mais altos revelam que o impasse está na complexidade das ações a serem desenvolvidas e as expectativas de demonstração de determinados desempenhos e não na apropriação do conhecimento ou dos domínios/eixos temáticos (MEDEIROS; JALOTO; SANTOS, 2017).

Agora, após apresentar todas as discussões que fundamentam a avaliação do PISA e os resultados do nosso país nesse exame, discorreremos sobre o exame nacional ENEM, sob a mesma perspectiva.

2.2 O EXAME NACIONAL DE AVALIAÇÃO: ENEM

O *ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio)* é uma avaliação nacional criada pelo INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira), em 1998, e realizada de forma voluntária por estudantes concluintes do ensino médio ou por egressos, com o objetivo de avaliar o desempenho do aluno e, com base nesses resultados, buscar melhorias para a qualidade desse nível de escolaridade. O exame foi estruturado com base nas Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), já que surgiu dois anos depois da sua publicação. Nesses primeiros exames, o objetivo era determinar as competências e habilidades desenvolvidas pelos alunos dentre as estabelecidas na sua matriz (SANTOS, 2011), em um contexto de péssimos resultados na educação do país, e com a necessidade de melhorias estatísticas para adequá-lo às vertentes internacionais que demandavam por bons resultados no ensino, no Brasil (ANDRADE, 2012).

Nos tempos atuais, os objetivos são: conferir um parâmetro para autoavaliação do estudante quanto à sua formação e inserção no mercado de trabalho; formar uma referência nacional para os egressos do ensino médio; subsidiar o acesso à educação superior; tornar-se modalidade de acesso a cursos

profissionalizantes (CASTRO, 2009).

Quanto à sua estruturação, desde a sua criação até o ano de 2008, o ENEM era composto por uma prova objetiva e uma redação, realizadas em um único dia e com o intuito apenas de avaliar as habilidades e competências dos alunos que concluíam o ensino médio. A prova era constituída por 63 questões avaliadas em uma escala de 0 a 100 pontos, e ainda era atribuída uma pontuação às cinco competências avaliadas. Para a redação também havia uma nota de 0 a 100 e uma média para as cinco competências.

Contudo, havia uma crítica a esse modelo de exame, já que ele propunha um perfil genérico do aluno, o que impedia a identificação das habilidades fundamentais para a área pretendida no ensino superior (ANDRADE, 2012). Dessa forma, fazia-se necessário repensar na proposta do ENEM, a fim de proporcionar às Instituições de Ensino Superior (IESs) uma alternativa para os exames vestibulares com uma proposta contemporânea do perfil do estudante, e foi assim que surgiu a proposta do novo ENEM: “a de possibilitar às IESs ‘enxergar’ melhor o perfil dos alunos concluintes da educação básica” (ANDRADE, 2012, p.68).

Assim, em 2009 o MEC anunciou mudanças tanto na sua finalidade, já que a partir daí o exame serviria também como porta de acesso dos estudantes ao ensino superior, quanto na sua estrutura, já que o exame passou a ser realizado em dois dias. Sobre as mudanças a coordenadora do Enem destacou:

Creio que temos que reconhecer a transformação total do exame seja em seus objetivos e finalidades, seja em seus pressupostos teóricos e metodológicos, seja em sua operacionalização e principalmente nos seus efeitos.

Não se trata mais de qualificar o desempenho dos jovens avaliando-os por um instrumento atrelado a princípios e diretrizes do ensino médio privilegiando suas estruturas de inteligência, como uma credencial sobre sua formação geral para o ensino superior e para o mundo do trabalho, mas de medir a quantidade de informações retidas na memória com a finalidade de servir a uma classificação nacional para servir aos vestibulares mais concorridos que precisam excluir jovens nos processos seletivos.

Definitivamente o exame é outro. Desnecessário dizer que o original hoje deveria sofrer ajustes próprios aos desafios atuais até mesmo para atender às universidades, mas isso poderia ser feito sem desfigurar tanto a proposta original tanto em sua estrutura como em seus objetivos e, principalmente em sua vinculação com o ensino médio, este sim o mais prejudicado com a transformação (FINI, 2010 *apud* FERNANDES; MARQUES, 2013, p.169-170).

Nesse período de reestruturação, além da avaliação de desempenho individual dos estudantes, Rocha (2014) aponta que os resultados também seriam utilizados para acompanhar a

“qualidade do ensino médio no País, na implementação de políticas públicas, criação de referência nacional para o aperfeiçoamento dos currículos do ensino médio e o desenvolvimento de indicadores sobre a situação da educação brasileira e no estabelecimento de critérios de acesso do participante aos programas governamentais (p.25).

No que diz respeito ao modelo de avaliação do ENEM, os documentos oficiais (BRASIL, 2009) discutem que ele foi desenvolvido com ênfase na aferição das estruturas mentais que constroem o conhecimento e não na memória, já que ela não é capaz de fazer os indivíduos compreenderem o mundo em que vivem. Mas, segundo Fernandes e Marques (2013), o ENEM é influenciado por diferentes tipos de avaliação:

O Enem parece ter alguma sintonia com a **avaliação normativa** a nível macro, pois este estilo de avaliação caracteriza-se como uma competição onde os que obtêm as melhores notas serão selecionados para uma determinada função. Esse modelo de avaliação não leva em consideração as diferenças na formação dos estudantes.

Outro modelo de avaliação com o qual o Enem poderia ser relacionado é o modelo de **avaliação como instrumento de controle e regulação** [...] o Enem atual se aproximaria deste modelo por ter explicitamente a pretensão de modificar o currículo do ensino médio, mesmo que suas intenções sejam em uma perspectiva de melhoria na qualidade do ensino. E igualmente por estar ranqueando as escolas do Brasil, isto é, as escolas em que os estudantes obtiveram as melhores notas do Enem estão nos primeiros lugares no ranque [...].

Igualmente, o atual Enem possui características, mesmo que superficiais, de uma **avaliação emancipatória**, à medida que tenta transformar a realidade atual propiciando a democratização de vagas a cursos de graduação em instituições de ensino superior (2013, p.168-169, grifo nosso).

Quanto à organização, no primeiro dia a prova é constituída por 90 questões de múltipla escolha, divididas por áreas do conhecimento: 45 questões das áreas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Biologia, Física e Química) e 45 questões das áreas de Ciências Humanas e suas Tecnologias (Filosofia, Geografia, História e Sociologia). No segundo dia a prova é composta por uma

redação e por 90 questões: 45 questões de Matemática e suas Tecnologias e 45 questões das áreas de Linguagens, Códigos e suas Tecnologias (Português, Literatura, Língua Estrangeira, Artes e Educação Física).

Em 2017 houve uma alteração nos dias, sendo que as 45 questões de Linguagens, Códigos e suas Tecnologias, que eram realizadas no segundo dia, passaram para o primeiro, e as 45 questões das áreas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que eram no primeiro dia, passaram para o segundo, ficando assim, até o momento:

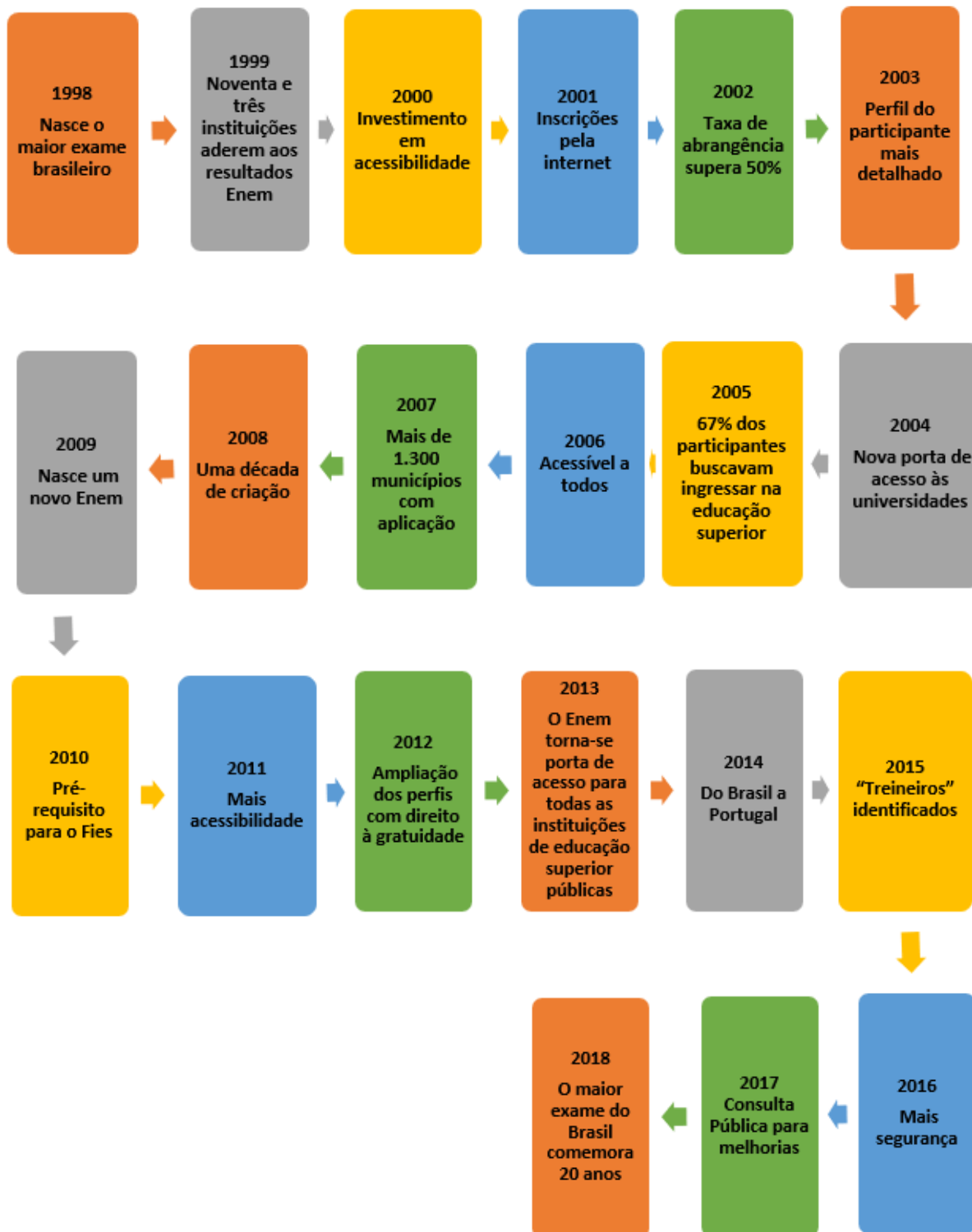
- Primeiro dia: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Redação; Ciências Humanas e suas Tecnologias.
- Segundo dia: Ciências da Natureza e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias;

Em 2019, um grande número de candidatos estiveram ausentes na realização das provas e, por esse motivo, o INEP optou por ofertar a reaplicação dela, caso fossem comprovados problemas de logística que comprometeram a realização da prova (desastres naturais, falta de energia elétrica, estrutura imprópria do local de prova, erro na execução de procedimento de aplicação pelo aplicador). Sendo assim, duas provas foram aplicadas.

Por ocorrência da pandemia causada pelo Sars-CoV-2, o ENEM 2020 ocorreu no início do ano civil de 2021, em duas edições, digital e impressa, em datas distintas, ficando a critério do aluno a escolha em qual formato se inscrever.

Para compreender como o exame vem sendo organizado ao longo dos anos, construímos esse fluxograma:

Figura 3 – Histórico do ENEM



Fonte: próprio autor, baseado nos dados fornecidos pelo *site*² do INEP.

² <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/historico>

Quanto à composição da prova, há uma matriz de referência que apresenta os conteúdos que se espera que os alunos do ensino médio tenham domínio, sendo composta por habilidades e competências específicas que podem ser exigidas nas questões do ENEM:

Em tais matrizes, a organização do conteúdo curricular científico centraliza-se no desenvolvimento de competências e habilidades para a integração de áreas do conhecimento, na inserção social, no prosseguimento dos estudos, no ingresso no mundo do trabalho e no conhecimento com relevância social. Além disso, há a valorização da articulação entre a ciência, a tecnologia e as questões sociais, visando formar um cidadão pensante, crítico e, sobretudo, capaz de intervir na realidade e de ser um agente de transformação de seu meio (MACENO *et al.*, 2011, p. 153).

Alguns eixos cognitivos necessários para a realização da avaliação são comuns a todas as áreas do conhecimento, sendo eles: Dominar linguagens (DL), compreender fenômenos (CF), enfrentar situações problema (SP), construir argumentação (CA), elaborar propostas (EP).

Para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, há dois referenciais importantes:

- Dez grandes grupos do conhecimento (composto de 101 itens de conhecimentos específicos):
 - 1) Transformações Químicas – TQ
 - 2) Representação das Transformações Químicas – RTQ
 - 3) Materiais, suas Propriedades e Usos – MPU
 - 4) Água – A
 - 5) Transformações Químicas e Energia -TQEn
 - 6) Dinâmica das Transformações Químicas – DTQ
 - 7) Transformação Química e Equilíbrio – TQEq
 - 8) Compostos de Carbono – CC
 - 9) Relações da Química com as Tecnologias, a Sociedade e o Meio Ambiente – RQTSM
 - 10) Energias Químicas no Cotidiano – EQC
- As oito competências e 30 habilidades exigidas para a resolução das questões (BROIETTI, 2013)

Quanto ao desempenho dos estudantes, segundo o INEP³:

Diferentemente de uma prova comum, a nota do Enem em cada área não representa simplesmente a proporção de questões que o estudante acertou na prova. Em cada uma das quatro áreas avaliadas, a média obtida depende, além do número de questões respondidas corretamente, também da dificuldade das questões que se erra e se acerta, e da consistência das respostas. Por isso, pessoas que acertam o mesmo número absoluto de itens podem obter médias de desempenho distintas. [...]

Segundo Maceno *et al.* (2011, p.155) “o ENEM emerge com potencial para induzir mudanças pedagógicas e curriculares, defendendo que as dimensões amplas devem ser contempladas nos espaços escolares”, com o intuito de desenvolver uma aprendizagem para além da memorização de conteúdo. Todavia, conforme iremos discutir no capítulo 3, não foi isso que observamos nas questões de Química analisadas.

O ENEM “tende a ser um hegemônico **instrumento de orientação curricular** [...] por ser política de seleção para o ingresso do ensino superior” (ROCHA, 2014, p. 25-26, grifo nosso). O problema é que isso gera um suposto ranking científico das escolas ao cultivar a performance individual dos estudantes (LOPES; LÓPEZ, 2010).

Além do mais, os resultados do ENEM deveriam ser utilizados para novas formulações curriculares e, com o êxito na implementação dos currículos, o exame também deveria passar por mudanças (SIQUEIRA; SANTOS, 2021), visto que, segundo a Política Nacional de Avaliação e Exames da Educação Básica: “O Enem tem como objetivo aferir o domínio das competências e das habilidades esperadas ao final da educação básica” (BRASIL, 2018b, Art. 7º) e essas competências e habilidades fazem parte da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Por avaliar o desempenho dos estudantes e a qualidade da educação básica do país, o ENEM acaba se tornando dependente da forma como

³ Fonte: http://www.inep.gov.br/imprensa/noticias/enem/news10_04.htm.

os documentos curriculares se materializam no processo de aprendizagem em sala de aula (SIQUEIRA; SANTOS, 2021). Além do mais, Lopes e López (2010) discutem uma formação do indivíduo onipotente e autorregulado, capaz de traduzir uma eficiência do sistema, mas enfatizam que não se deve restringir a avaliação e o currículo ao foco do desempenho, diferente disso, deve-se tornar o desempenho “uma forma de evidência pública vinculada à luta pela diminuição das desigualdades sociais” (p.107).

Sobre o desempenho dos alunos, o último informativo do ENEM disponibilizado pelo INEP⁴ contém a sinopse dos alunos no exame de 2019. Nele temos várias informações estatísticas, dentre elas as que apresentaremos na sequência sobre o desempenho por região e área do conhecimento, a fim de termos ciência da situação do nosso país.

A média dos alunos participantes do ENEM em Ciências da Natureza é de 477,82 pontos, sendo a região Norte a que possui o menor desempenho com 455,74 pontos, seguida da região Nordeste com 464,98, região Centro-Oeste com 478,64 pontos, região Sul com 490,13 pontos, e com maior desempenho a região Sudeste, com 494,16 pontos. Sabemos que vários são os fatores que influenciam na qualidade da educação, dentre eles os econômicos, sociais, culturais, políticos e, por isso, esse exame apresenta o questionário socioeconômico, com o intuito de compreender esses dados. Por não ser o foco desse estudo, não aprofundaremos nessa discussão

Quanto à faixa de proficiência na mesma área, a maioria dos estudantes brasileiros concentra-se com notas entre 400 a 600 pontos. Esses resultados nos inquietam, já que a escala de proficiência permite números acima de mil pontos, e a maioria dos nossos alunos encontra-se muito distante disso.

No que se refere à Química, presente dentro da área das Ciências na Natureza e suas Tecnologias, o exame valoriza a articulação entre os conhecimentos científicos e o contexto de vida, com base em temas apoiados na interdisciplinaridade e na contextualização (INEP, 2012).

⁴ Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/enem>

Para concluirmos, “há discrepância entre o currículo proposto, os conteúdos apresentados pelos docentes, e o estilo de avaliação empregado no Novo Enem (STANDLER; HUSSEIN; MARQUES, 2017, p.400)”.

2.3 INTEGRAÇÃO ENTRE O ENEM E O PISA

Nos pontos anteriores, apresentamos uma síntese sobre as avaliações externas tratadas nessa pesquisa e, com isso, fica evidente a importância do produto delas para os estudantes no que diz respeito à reflexão sobre o seu desempenho, e para os órgãos governamentais na reflexão sobre os resultados e, por consequência, no estabelecimento de políticas públicas que venham ao encontro das necessidades demonstradas.

Além disso, o ENEM serve como porta de entrada às instituições de ensino superior e permite a reflexão sobre a situação dos processos de ensino e de aprendizagem, ou melhor, essa avaliação fornece resultados quantitativos sobre o término de um ciclo que corresponde à educação básica e sobre a situação do ensino médio brasileiro.

Já a prova PISA mostra a condição na qual se encontra o nosso país em relação à educação, ao medir o nível educacional dos jovens próximos a concluir a educação básica e faz um comparativo com vários outros países pertencentes à OCDE, desvendando a situação educacional brasileira em um ranking mundial.

Outrossim, ao pesquisar por referenciais que estabelecessem relação entre o PISA e o ENEM na disciplina de Química, não encontramos nenhum trabalho.

Analisando todos esses pontos que acabamos de apresentar e refletindo sobre os péssimos resultados do nosso país, iniciamos a busca pela integração entre o ENEM e PISA. Nessa proposição surgiu o nosso problema de pesquisa: Quais dimensões para o Letramento Científico que constituem a matriz de referência da prova PISA estão presentes no ENEM e como elas estão organizadas? Para solucioná-lo, o nosso objetivo é analisar as questões de Química do ENEM para identificar quais dimensões para o Letramento Científico

que fundamentam o PISA são contempladas nessas questões e como elas estão organizadas.

Para isso, iniciamos a integração entre o ENEM e PISA, sendo o nosso intuito a integração dos critérios de análise para o Letramento Científico nas duas avaliações, ou melhor, a busca por um referencial de análise em comum ao considerarmos a relevância da matriz de referência da avaliação de Ciências da prova PISA no que se refere ao Letramento Científico.

Assim, o nosso intuito é analisar as questões do ENEM com conteúdo de Química com base em três das quatro principais dimensões ou componentes: CONTEXTO (pessoais, locais/nacionais e globais, atuais e históricas), CONHECIMENTO (conteúdo, procedimental e epistêmico) e as COMPETÊNCIAS (a capacidade de avaliar e projetar pesquisas científicas, explicar cientificamente os fenômenos e interpretar dados e evidências cientificamente). Para isso, construímos um quadro analítico (Quadro 7) com a síntese das dimensões utilizadas para a interpretação das questões.

Para estabelecer conexões entre as duas avaliações externas, analisaremos também as questões PISA, mas somente com essa finalidade, já que o nosso foco se dá no exame nacional.

Nesse processo de integração entre as avaliações, enfatizamos o papel dessas avaliações externas na formação de um aluno crítico e reflexivo, ao considerarmos que, por vezes, o processo de ensino e aprendizagem é direcionado para o êxito no ENEM durante todo o Ensino Médio.

Dessa forma, ao servir de base para a organização de um ciclo da educação básica que é o Ensino Médio, o ENEM interfere na forma com que o professor irá realizar suas escolhas em relação ao planejamento e condução de suas aulas: a opção por qual conhecimento dará ênfase (conteúdo, procedimental ou epistêmico); a contextualização será realizada priorizando as temáticas mais evidentes nas últimas avaliações; os objetivos e todos os encaminhamentos das aulas serão organizados com base em competências predefinidas e esperadas para os alunos.

Sendo assim, se as questões forem organizadas de forma que exijam mais do aluno o conhecimento procedimental e epistêmico e a competência

de interpretar, analisar e avaliar os dados em diferentes representações ou avaliar uma investigação científica, o professor irá realizar suas escolhas metodológicas de forma que proporcione aos alunos condições de terem êxito nesse exame e por consequência, propiciar a formação de alunos críticos.

Isso não significa que os alunos irão aprender significativamente a Química ao realizar as questões do ENEM, mas que se todo o processo de ensino e aprendizagem se baseia nelas, questões bem estruturadas em relação as exigências cognitivas implicariam em ações diferenciadas por parte dos professores, da escola, na organização do material didático, enfim, das diferentes instâncias dentro desse processo, permitindo a formação crítica e reflexiva para o aluno se posicionar frente as diferentes situações vivenciadas por um cidadão atuante.

No capítulo seguinte apresentamos os caminhos trilhados para solucionar esse problema.

CAPÍTULO 3 – CAMINHOS DA PESQUISA

Nesse capítulo, descrevemos toda a trajetória da pesquisa e os fundamentos teóricos e metodológicos utilizados para a análise das questões.

A pesquisa desenvolvida teve aspecto qualitativo, concordando com Tozoni-Reis (2009) na qual a compreensão dos conteúdos é mais importante do que sua descrição ou explicação. É ainda de natureza documental, sendo que a sua característica principal é que a fonte de dados são documentos, ou seja, “a busca de informações (dados) sobre os fenômenos investigados é realizada nos documentos, que exigem, para a produção de conhecimentos, uma análise” (TOZONI-REIS, 2009, p.30). Os documentos utilizados foram os cadernos azuis do ENEM de 2012 a 2020 e o documento do INEP ([20 --]) que fornece os itens liberados do PISA.

Por se tratar de uma pesquisa qualitativa, optamos pela Análise de conteúdo de Bardin (2011) para o tratamento dos dados, da qual descreveremos na sequência suas definições e etapas, e em paralelo, como elas foram organizadas nessa pesquisa.

A Análise de Conteúdo é uma metodologia de análise quantitativa e qualitativa que pode assim ser definida:

[...] 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 permitem a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 2011, p.48).

Ela consiste, basicamente, em três etapas: 1) pré-análise, 2) exploração do material e 3) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A primeira etapa, a pré-análise, consiste na leitura geral do material a ser analisado, chamada de leitura flutuante, a escolha dos documentos como definição do *corpus* de análise, a formulação de hipóteses e elaboração dos indicadores que irão nortear a interpretação final. Nessa etapa realizamos o download, no *site* do INEP, de todas as provas e gabaritos pertencentes ao caderno azul do ENEM do período de 2012 a 2020. Sobre o período escolhido, optamos por

2012 por se tratar de um período posterior às reformulações e com um distanciamento relativamente grande entre elas (a reformulação ocorreu em 2009), e suficiente para a organização da avaliação de acordo com a nova proposta. Sobre o ano de 2020, ele foi escolhido com o intuito de tornar mais recente possível essa pesquisa.

Esse intervalo resultou em onze avaliações, já que nos anos de 2019 e 2020 foram realizadas duas provas: em 2019 houve uma reaplicação das provas e, em 2020, em função da pandemia causada pelo Sars-CoV-2, em uma data ocorreu a avaliação digital e, em outra, a avaliação impressa. Iniciamos então a leitura flutuante das questões pertencentes à área da Ciências da Natureza e suas tecnologias, com o intuito de separar as questões com conteúdo de Química. Quanto à prova PISA, consultamos dois documentos que trazem os itens Liberados das provas de Ciências (de 2000 a 2015) no portal do INEP⁵ e, da mesma forma, realizamos a leitura flutuante, também com o intuito de selecionar os itens com conteúdo químico.

Na sequência, iniciamos a segunda fase, ou seja, a exploração do material que consiste na codificação e categorização dos dados. Nesta etapa é realizado o recorte das unidades de registro, que podem ser uma palavra, tema ou uma frase. Em seguida, a enumeração, que pode ser feita por meio da presença ou ausência das unidades de registro, da frequência em que estas unidades aparecem, da intensidade (medida por meio de tempos verbais), da direção destas unidades (favoráveis, neutras ou desfavoráveis), ou da ordem em que aparecem. Nesse momento realizamos o recorte das questões com conteúdo de Química do ENEM, totalizando cento e noventa e seis questões que foram organizadas em um documento e codificadas de E1 a E196, nas quais o “E” faz referência ao ENEM, e organizamos um quadro de forma a descrever: o tema (tema esse que foi interpretado pela pesquisadora, já que as questões do ENEM não são organizadas por temática), uma breve descrição do que a questão trata e o ano em que ela foi proposta, que se encontra no Apêndice A.

⁵ Itens liberados do INEP, disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/acoes-internacionais/pisa/provas>>. Acesso em: 25 maio 2017.

Da mesma forma, realizamos um recorte dos itens liberados pelo PISA com conteúdo de Química, totalizando cinquenta e nove questões que foram organizadas em um documento e codificadas de P1 a P59, nas quais a letra “P” faz referência ao PISA, e organizamos um quadro (Apêndice B) semelhante ao anterior: com o tema, já que nessa avaliação encontramos vários itens sob uma mesma temática; com a descrição do que trata o item; e o ano em que foi proposto.

Ainda na segunda etapa analisamos os quadros construídos (Apêndice A e B) com o intuito de identificar temáticas recorrentes em ambas as avaliações e separamos as questões pertencentes a elas, totalizando oitenta e cinco questões, sendo os temas: Gás carbônico (dezenove questões), Água (quinze questões), Fontes de energia (vinte e seis questões) e Poluição e seus impactos ambientais (vinte e cinco questões).

Na terceira e última etapa foi realizado o tratamento, a inferência e interpretação dos resultados, sendo que no momento da interpretação deve-se retomar o referencial teórico, dando embasamento e sentido à interpretação. Sendo assim, após a separação por temáticas, iniciamos as análises das questões utilizando como categorias *a priori*, três das quatro dimensões para o Letramento Científico utilizadas no PISA: contexto, competência e conhecimento, ou seja, realizamos a análise de todas as oitentas e seis questões (PISA e ENEM) nessas três dimensões. Assim, por exemplo, as questões que tratavam da emissão de gás carbônico ficaram agrupadas e foram analisadas observando-se as três dimensões e posteriormente as suas semelhanças e diferenças, ou seja, como cada uma das avaliações apresentava esse assunto e qual a exigência feita ao aluno.

Para auxiliar no entendimento de como realizamos as análises, discorreremos, na sequência, sobre cada uma das três dimensões para o Letramento Científico utilizadas.

No que diz respeito ao **contexto** da prova PISA 2015 que teve a Ciência como domínio principal, o foco dos itens foi “em situações relacionadas com o indivíduo, família e grupos de amigos (**pessoais**), para a comunidade (**local e nacional**) e para a vida em todo o mundo (**global**)” (OCDE, 2013, p.13). Para amparar a interpretação relativa aos contextos de cada questão, utilizamos como categoria *a priori* o Quadro 5 que traz os contextos na avaliação do Letramento

Científico. Esse quadro ilustra as aplicações da ciência e da tecnologia nas configurações pessoais, locais, nacionais e globais, elaboradas a partir de situações da vida e pertinentes com as áreas para o letramento científico, sendo elas: saúde e doença, recursos naturais, qualidade ambiental, ameaças e fronteiras entre ciência e tecnologia.

Quadro 5 - Contextos para o letramento científico no PISA 2015

	Pessoal	Local/Nacional	Global
Saúde e doença	Manutenção de saúde, acidentes, nutrição	Controle de doenças, transmissão social, escolhas alimentares e saúde da comunidade	Epidemias, propagação de doenças infecciosas
Recursos naturais	Consumo individual de materiais e energia	Manutenção das populações humanas, qualidade de vida, segurança, produção e distribuição de alimentos, suprimento de energia	Sistemas naturais renováveis e não renováveis, crescimento populacional, uso sustentável de espécies
Qualidade ambiental	Ações ambientalmente amigáveis, uso e descarte de materiais e dispositivos	Distribuição da população, descarte de lixo e impacto ambiental.	Biodiversidade, sustentabilidade ecológica, controle de poluição, produção e perda de solo / biomassa
Riscos	Avaliações de risco e escolha de estilo de vida	Mudanças rápidas [ex.: terremotos, clima severo], mudanças lentas e progressivas [ex.: erosão de encostas, sedimentação], avaliação de riscos.	Mudança climática, impacto da comunicação moderna
Fronteiras da ciência e tecnologia	Aspectos científicos de passatempos, tecnologia pessoal, música e atividades esportivas.	Novos materiais, dispositivos e processos, modificações genéticas, tecnologia da saúde e dos transportes	Extinção de espécies, exploração de espaço, origem e estrutura do universo

Fonte: OECD 2013, p.14.

Vale ressaltar que a prova PISA não é uma avaliação de contextos, mas avalia as competências e conhecimentos utilizando contextos específicos

condizentes com a compreensão dos estudantes de 15 anos (OECD 2013, p.14).

No que diz respeito às **competências**, “[...] a avaliação vai exigir evidências da utilização bem sucedida das três competências requeridas para o letramento científico em situações importantes que refletem contextos pessoais, locais, nacionais e globais” (OECD 2013, p.13). Organizamos o Quadro 6 que sintetiza as ideias apresentadas pela OECD (2013, p.15-16):

Quadro 6 - Competências científicas

Competências	Descrição
Explicar fenômenos cientificamente	Reconhecer, oferecer e avaliar explicações para fenômenos naturais e tecnológicos, demonstrando capacidade de: <ul style="list-style-type: none"> • Lembrar e aplicar conhecimento científico apropriado; • Identificar, utilizar e gerar modelos explicativos e representações; • Fazer e justificar previsões apropriadas; • Oferecer hipóteses explicativas; • Explicar as implicações potenciais do conhecimento científico para a sociedade.
Avaliar e planejar experimentos científicos	Descrever e avaliar investigações científicas e propor meios para responder cientificamente a questões, demonstrando capacidade de: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar a questão explorada em um dado estudo científico; • Diferenciar questões possíveis de serem investigadas cientificamente; • Propor formas de explorar uma dada questão cientificamente; • Avaliar formas de explorar uma dada questão cientificamente; • Descrever e avaliar os vários caminhos que os cientistas usam para assegurar a confiabilidade dos dados e a objetividade e generalização das explicações.
Interpretar dados e evidências cientificamente	Analisar e avaliar dados, suposições e argumentos em representações variadas e tecer conclusões científicas apropriadas ao contexto, demonstrando capacidade de: <ul style="list-style-type: none"> • Transformar dados de uma representação para outra; • Analisar e interpretar dados e tirar conclusões apropriadas; • Identificar as premissas, evidências e argumentos em textos relacionados às ciências; • Distinguir entre argumentos, quais são baseados em evidência científica e quais são baseados em outras considerações; • Avaliar argumentos científicos e evidências de diferentes fontes (por ex., jornais, internet, revistas científicas).

Fonte: OECD 2013, p.15-16.

Explicar um fenômeno cientificamente “requer do estudante

relembrar conhecimento de conteúdo apropriado a uma determinada situação e usá-lo para interpretar e dar uma explicação para o fenômeno de interesse” (OECD 2013, p.15).

Já a competência de *Avaliar e Planejar Experimentos Científicos* é necessária para avaliar de forma crítica, relatos de descobertas e investigações científicas e requer um conhecimento das características principais de uma investigação científica (OECD 2013, p.15). Esta competência exige que os alunos “possuam conhecimento procedimental e epistemológico, mas que sejam também capazes de mobilizar, em diferentes graus, seu conhecimento do conteúdo de ciências” (OECD 2013, p.16).

Em relação à terceira competência, imprescindível para o letramento científico, o aluno deve ser capaz de interpretar e dar sentido a provas científicas e a formas básicas de dados e que são úteis para tirar conclusões e fazer reivindicações. Além disso, deve ser capaz de interpretar o significado das evidências científicas e suas implicações, fazendo uso de diferentes formas de representação. A exibição dessa terceira competência pode exigir as três formas de **conhecimento** de Ciências: conteúdo, procedimental e epistêmico (OECD 2013, p.16).

No que concerne ao *conteúdo*, a escolha é feita pensando na relevância desse conhecimento para a vida, na importância e na adequação à faixa etária que estará realizando a avaliação, sendo que esse “[...] conhecimento é necessário para a compreensão do mundo natural e para dar sentido a experiências em contextos pessoais, locais, nacionais e globais” (OECD 2013, p.17). A Figura 4 mostra as categorias de conhecimento de conteúdo e exemplos selecionados:

Figura 4 – Conhecimento de Conteúdo de Ciências no PISA 2015

Conhecimentos dos sistemas físicos
<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura da matéria (modelo de partículas, ligações) • Propriedades da matéria (mudanças de estado, condutividade térmica e elétrica) • Mudanças químicas da matéria (reações químicas, transferência de energia, ácidos/bases) • Movimento e forças (velocidade, fricção) e ação em distância (magnetismo, gravitação e forças eletrostáticas) • Energia e transformação (conservação, dissipação, reações químicas) • Interações entre energia e matéria (ondas sonoras e luminosas, som e ondas sísmicas).
Conhecimentos dos sistemas vivos
<ul style="list-style-type: none"> • Células (estrutura e função, DNA) • Conceito de organismo (unicelular, pluricelular) • Seres humanos (saúde, nutrição, subsistemas digestório, respiratório, excretor, reprodutivo e suas relações) • Populações (espécies, diversidade, variabilidade, evolução) • Ecossistemas (cadeias e teias alimentares, fluxo de matéria e energia) • Biosfera (sustentabilidade)
Conhecimentos do sistema Terra e Espaço
<ul style="list-style-type: none"> • Estruturas do sistema Terra (litosfera, hidrosfera, atmosfera) • Energia no sistema Terra (fontes, clima global) • Mudanças no sistema Terra (placas tectônicas, ciclos geoquímicos, forças construtivas e destrutivas) • História da Terra (fósseis, origem e evolução) • Terra no espaço (gravidade, sistema solar e galáxias) • História e escala do Universo (ano luz, teoria do Big Bang)

Fonte: OECD, 2013, p.18.

Com o intuito de gerar explicações sobre o mundo material, tentativas são desenvolvidas e testadas apoiadas em alguns conceitos estabelecidos, e é “este conhecimento dos conceitos e procedimentos que são essenciais para a investigação científica que sustenta a coleta, análise e interpretação de dados científicos” (OECD 2013, p.18), formando o corpo de conhecimento *procedimental*. Assim, sobre o conhecimento procedimental, pode-se pensá-lo como o “conhecimento dos procedimentos padrões que os cientistas usam para obter dados confiáveis e válidos” (OECD 2013, p.18). A Figura 5, transmite as características gerais do conhecimento procedimental.

Figura 5 – Conhecimento Procedimental no PISA 2015

Conhecimento Procedimental
<ul style="list-style-type: none"> • Conceitos de variáveis dependentes e independentes; • Conceitos de medidas: qualitativas e quantitativas, escalas, variáveis contínuas e discretas; • Formas de avaliar e minimizar incertezas: repetições, medidas médias; • Mecanismos de geração de replicabilidade; • Ferramentas de representação de dados: gráficos, tabelas, mapas, histogramas; • Controle de variáveis: desenho experimental, randomização; • Natureza de desenhos específicos: observação, busca de padrões, experimentação.

Fonte: OECD, 2013, p.19.

E por fim, o Conhecimento epistemológico é “um conhecimento de construtos e características definidoras essenciais para o processo de construção do conhecimento em ciência e do seu papel na justificativa do conhecimento produzido pela ciência” (OECD 2013, p.19). Está relacionado ao uso de critérios epistêmicos utilizados pela comunidade científica para construir o conhecimento (DUSCHL, 2008; KELLY, 2008) e a partir desses critérios os alunos compreendem “[...] as razões, baseadas em evidências, para o conhecimento conceitual e modelos” (KELLY; LICONA, 2018, p. 142). A Figura 6, transmite as características gerais do conhecimento epistemológico.

Figura 6 – Conhecimento Epistemológico no PISA 2015

Conhecimento Epistemológico:
<p>Os construtos e recursos das ciências:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Natureza das observações científicas, fatos, hipóteses, modelos e teorias; • Propósitos e objetivos das observações científicas: produção de explicações do mundo natural, produção de soluções para as necessidades humanas (tecnologia); • Valores da ciência: compromisso, objetividade, eliminação de viés; • Natureza do raciocínio científico: dedução, indução, inferência, analogias e uso de modelos. <p>O papel dos construtos e recursos para justificar a produção do conhecimento científico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como afirmações científicas são apoiadas por dados e raciocínio na ciência; • Função das diferentes formas de investigação para produção de conhecimentos; • Como as medidas de erro afetam o grau de confiabilidade do conhecimento científico; • Uso e limites de uso dos modelos físicos, sistêmicos e abstratos; • Papel dos pares no estabelecimento de confiabilidade nas comunidades científicas; • Papel do conhecimento científico e de outras formas de conhecimento na identificação de questões sociais e tecnológicas.

Fonte: OECD, 2013, p.20.

Com base nesse referencial PISA para o Letramento Científico apresentado até aqui, construímos um quadro analítico para as questões de Química do ENEM com base nas dimensões para o Letramento Científico da prova PISA:

Quadro 7 – Quadro analítico para as questões de Química do ENEM com base das dimensões para o Letramento Científico da prova PISA

Dimensão do Letramento Científico	Descrição		
CONTEXTO	<p><i>Pessoal</i></p> <p>Trata de situações sobre a ciência e a tecnologia relacionadas ao indivíduo, família e grupo de amigos nas diferentes áreas para o letramento científico (saúde e doença; recursos naturais; qualidade ambiental; riscos; fronteiras da ciência e tecnologia).</p>	<p><i>Local/Nacional</i></p> <p>Trata de situações sobre a ciência e a tecnologia relacionadas a comunidade, nas diferentes áreas para o letramento científico (saúde e doença; recursos naturais; qualidade ambiental; riscos; fronteiras da ciência e tecnologia).</p>	<p><i>Global</i></p> <p>Trata de situações sobre a ciência e a tecnologia para a vida no mundo todo, nas diferentes áreas para o letramento científico (saúde e doença; recursos naturais; qualidade ambiental; riscos; fronteiras da ciência e tecnologia).</p>
COMPETÊNCIA	<p><i>Explicar fenômenos cientificamente</i></p> <p>O aluno deve lembrar e aplicar o conhecimento científico adequado para solucionar determinado problema.</p>	<p><i>Avaliar e planejar experimentos científicos</i></p> <p>O aluno deve ter a competência de avaliar a investigação científica e propor formas de explorar uma dada questão cientificamente.</p>	<p><i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i></p> <p>O aluno deve interpretar, analisar e avaliar os dados em diferentes representações (gráficos, imagens, esquemas, textos, etc.), realizando a transformação dos dados quando necessário, chegando a</p>

			conclusões científicas apropriadas.
CONHECIMENTO	<p><i>Conteúdo</i></p> <p>O aluno deve ter o conhecimento do conteúdo científico para solucionar o problema.</p>	<p><i>Procedimental</i></p> <p>O aluno deve ter o conhecimento dos procedimentos que os cientistas usam para obter dados confiáveis e válidos.</p>	<p><i>Epistêmico</i></p> <p>O aluno deve ter o conhecimento sobre como se dá o processo de construção do conhecimento científico.</p>

Fonte: próprio autor.

As dimensões para o Letramento Científico sintetizadas nesse quadro foram utilizadas como categorias *a priori* na interpretação das questões na análise de conteúdo (BARDIN, 2011) realizada no capítulo 4.

Quanto à atitude, não realizamos a análise dessa dimensão do letramento científico, já que não possuímos dados suficientes para interpretar as atitudes que a ciência desperta no indivíduo. Para isso, precisaríamos ter acesso aos outros questionários que compõem a prova.

Sobre os itens liberados da prova de 2015 de Ciências, esses já contêm uma tabela com informações sobre a questão e a descrição das dimensões do letramento científico (contexto, competência e conhecimento), como exemplificado abaixo:

Figura 7 – Informações contidas sobre cada um dos itens liberados da prova PISA 2015.

Informações sobre o item	
Número do item	CS613Q01
Competência	Explicar fenômeno cientificamente
Conhecimento	Conteúdo: Sistemas físicos
Contexto	Local/Nacional – Recursos naturais
Demanda cognitiva	Média
Formato do item	Múltipla escolha simples – codificação por computador

Fonte: INEP (2016, p. 11).

Dessa forma, para essas questões (PISA 2015) utilizamos as

dimensões fornecidas pelo OECD.

Vale ressaltar que a análise das questões PISA não é o foco da nossa tese, e sim o ENEM. Todavia, realizamos essa análise com o intuito de estabelecer uma conexão entre elas, dentro da mesma temática.

Após a explanação do nosso trajeto metodológico apresentamos, na sequência, o capítulo 4 que traz as análises e discussões principais do nosso trabalho.

CAPÍTULO 4 – CONEXÕES ENTRE O ENEM E O PISA

Nesse capítulo apresentamos as análises quanto ao contexto, competência e conhecimento realizadas para as questões do ENEM e PISA utilizando o quadro 7 apresentado anteriormente, e as relações que podemos estabelecer entre elas. Para isso, organizamos as questões em grupos, de acordo com o assunto, e discorremos nossas interpretações sobre elas. Os grupos encontrados e as questões pertencentes a cada uma das avaliações externas estão organizadas no quadro abaixo:

Quadro 8 – Grupos e suas respectivas questões

Grupo	Questões PISA	Questões ENEM
1 – Gás carbônico ou dióxido de carbono (CO ₂)	P1, P2, P13, P14, P15, P37, P38, P39, P51, P52, P53, P55	E4, E5, E28, E41, E163, E184, E189
2 – Água	P16, P17, P18, P19, P26, P27, P41, P56, P57	E23, E29, E30, E33, E96, E147
3 – Fontes de energia	P10, P12, P50, P58, P59	E9, E35, E36, E64, E67, E71, E74, E76, E90, E93, E97, E105, E106, E111, E112, E130, E131, E153, E158, E159, E176, E181
4 – Poluição e seus impactos ambientais	P32, P33, P34, P35, P36, P46	E2, E8, E10, E19, E5, E32, E39, E46, E48, E80, E116, E128, E134, E149, E178, E182, E192, E195

Fonte: próprio autor.

A cada questão apresentamos a resposta esperada e na sequência, a interpretação quanto ao contexto, competência e conhecimento que são as categorias.

Dando prosseguimento, apresentamos as análises por grupos

temáticos.

4.1 GÁS CARBÔNICO OU DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Quando iniciamos a codificação das questões (Apêndices A e B), ficou evidente que havia várias questões que tratavam sobre o gás carbônico e então optamos por iniciar as nossas análises com essa temática. Ela é composta por dezenove questões, sendo que doze delas estão nas provas PISA e sete nas provas do ENEM. São elas: P1, P2, P13, P14, P15, P37, P38, P39, P51, P52, P53, P55, E4, E5, E28, E41, E163, E184 e E189.

Na sequência apresentamos cada uma das dezenove questões e as respectivas análises quanto às dimensões do Letramento Científico.

As questões P1 e P2 pertencem ao tema *Mudança climática* e compõe a avaliação PISA do ano de 2000.

Figura 8 - Texto e gráfico fornecidos para as questões P1 e P2

Leia o texto abaixo e responda às questões que se seguem.

QUAIS SÃO AS ATIVIDADES HUMANAS QUE CONTRIBUEM PARA A MUDANÇA CLIMÁTICA?

A queima de carvão, óleo e gás natural, assim como o desflorestamento e várias atividades agrícolas e industriais estão alterando a composição da atmosfera e contribuindo para a mudança climática. Estas atividades humanas têm levado a um aumento na concentração de partículas e gases na atmosfera (efeito estufa). A importância relativa dos principais fatores que contribuem para a mudança de temperatura é mostrado na figura 1. O aumento nas concentrações de dióxido de carbono e metano têm um efeito aquecedor. Um aumento nas concentrações de partículas tem um efeito resfriador que age de duas maneiras, chamados no esquema de "partículas" e "efeito das partículas sobre as nuvens".

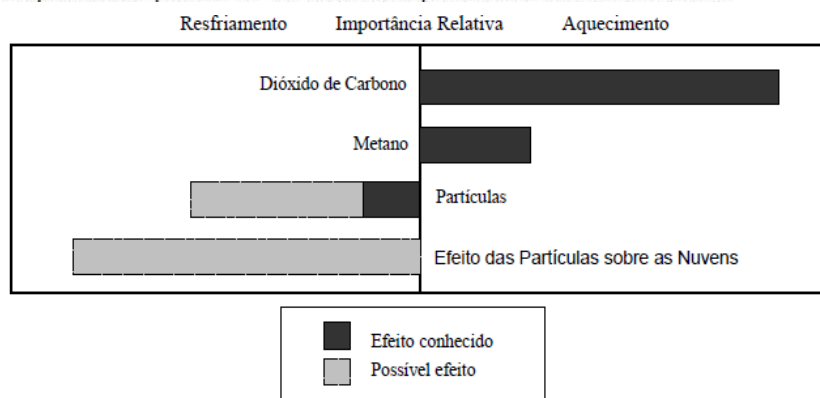


Figure 1: Importância relativa dos principais fatores responsáveis pela mudança de temperatura na atmosfera.

As barras estendendo-se para a direita da linha central indicam um efeito de aquecimento. As da esquerda da linha central indicam um efeito de resfriamento. O efeito relativo das "partículas" e "efeito das partículas nas nuvens" são um tanto incerto: em cada caso o efeito está em algum lugar no intervalo mostrado pela barra cinza clara.

Fonte: INEP ([20 --], p. 20).

Figura 9 - Questão P1

Use a informação da Figura 1 para desenvolver um argumento a favor da redução de dióxido de carbono emitido quando das atividades humanas mencionadas.

Fonte: INEP ([20 --], p. 21).

Resposta esperada:

“O dióxido de carbono é a causa principal do aumento da temperatura atmosférica, causando mudança climática, portanto, a redução da quantidade emitida deste gás, terá como seu maior efeito a redução do impacto das atividades humanas” (INEP, [20 --], p. 21).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 9 – Análise da Questão P1

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – riscos.</i>	O contexto escolhido deve-se ao fato de que a questão trata das mudanças climáticas na discussão das atividades humanas que contribuem para ela.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de realizar a interpretação da figura, transformando os dados apresentados nela, e justificar a importância da redução da emissão do dióxido de carbono com base nas evidências apresentadas.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá compreender o raciocínio envolvido na emissão de dióxido nas atividades humanas e fazer a relação das implicações dessa emissão para a alteração climática.

Figura 10 - Questão P2

Use a informação da Figure 1 para desenvolver uma argumentação em favor do ponto de vista de que os efeitos das atividades humanas no clima não constituem um problema.

Fonte: INEP ([20 --], p.22).

Resposta esperada:

“O efeito do aquecimento de dióxido de carbono e metano pode ser compensado pelo efeito do resfriamento das partículas na atmosfera, portanto, o resultado final seria uma não variação na temperatura” (INEP, 2015a, p. 22).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 10 – Análise da questão P2

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – riscos.</i>	O contexto escolhido deve-se ao fato de que a questão trata das mudanças climáticas na discussão das atividades humanas que contribuem para ela.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de realizar a interpretação da figura transformando os dados apresentados nela, trazendo um argumento contrário ao apresentado na questão anterior, exigindo de si avaliar argumentos científicos sob diferentes perspectivas.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá compreender o raciocínio envolvido na emissão de dióxido nas atividades humanas e fazer a relação das implicações dessa emissão para a alteração climática.

As questões P1 e P2 proporcionam ao aluno uma reflexão profunda sobre a mudança de temperatura no planeta, ao apresentar as atividades humanas que contribuem para a mudança climática e propor a análise e argumentação dos fatores responsáveis por ela sob diferentes perspectivas, deixando ao aluno um questionamento sobre o fato: as atividades humanas são ou não as responsáveis pela mudança climática?

Essas questões permitem ao aluno, ao refletir sobre esse texto, chegar a uma conclusão e posicionamento sobre as mudanças climáticas, ao

analisar a situação sob diferentes ângulos e, assim, tecer conclusões científicas sobre diferentes situações que lhes forem apresentadas no seu dia a dia.

Na sequência, vamos discorrer sobre as questões P13, P14 e P15 que fazem parte da prova PISA de 2003 e tem como tema o *Milho*. Vale ressaltar que outras questões foram tratadas com essa temática, mas não dizem respeito ao gás carbônico, e por isso não serão analisadas nesse momento. Além disso, por se tratar de questões construídas com o mesmo texto, o contexto para as três será o mesmo.

Figura 11 – Texto fornecido para as questões P13, P14 e P15

Análise a seguinte reportagem extraída de um jornal.

HOLANDÊS UTILIZA MILHO COMO COMBUSTÍVEL

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.

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.

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.

Atualmente, Ferwerda está pesquisando a possibilidade de utilização de toda a planta do 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."

Fonte: INEP ([20 --], p. 38).

Após a leitura atenta ao texto, vamos apresentar na Figura 12 a questão P13.

Figura 12 – Questão P13

Na reportagem, a conversão do gás carbônico é descrita da seguinte maneira: “...as plantas o absorvem e o convertem em oxigênio...”.

Há mais substâncias envolvidas nesta conversão além do gás carbônico e do oxigênio. A conversão pode ser representada da seguinte maneira:

gás carbônico + água → oxigênio +

Escreva o nome de uma substância que está faltando no quadro.

Fonte: INEP ([20 --], p. 42).

Resposta esperada:
 “Um dos seguintes nomes: glicose; açúcar(es); carboidrato(s); sacarídeo(s); amido” (INEP, 2015a, p. 42- 43).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 11 – Análise da questão P13

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Recursos naturais; Global – riscos.</i>	Essa questão pertence ao contexto <i>peçoal</i> , pois discute o consumo individual de materiais para a geração de energia. Além disso, o contexto <i>global</i> é apresentado ao discutir as mudanças climáticas, nesse caso, a emissão do gás carbônico e sua relação com o efeito estufa.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	Nessa questão o aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico apropriado, nesse caso, a reação de fotossíntese, para determinar a substância resultante do processo, ou seja, o produto final, além do oxigênio apresentado.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá saber que a reação de conversão de gás carbônico em

	oxigênio pela planta corresponde à reação de fotossíntese, que tem como produto a glicose, além do oxigênio.
--	--

Figura 13 – Questão P14

Suponha que Júlio escreva o seguinte texto em relação à reportagem e queira enviá-lo ao editor do jornal.

“Li sobre o receio do Sr. Ferwerda em relação ao fato de o governo opor-se à emissão de gás carbônico produzido pelos fogões que queimarem milho.

Acho que este medo é um equívoco. O governo deveria ficar contente com iniciativas como a do Sr. Ferwerda.

Do ponto de vista ambiental, a utilização de carvão ou gás natural como combustível é pior, em termos de concentração de gás carbônico no ar, do que a utilização do milho como combustível.

Ao contrário do carvão e do gás natural, o milho é uma fonte de energia renovável. A quantidade de gás carbônico liberada quando o milho é queimado será igual à quantidade de gás carbônico previamente absorvida quando o milho foi cultivado.

Portanto, esperamos que governo seja sábio e aplauda os planos do Sr. Ferwerda!”

Antes de enviar este texto ao editor do jornal, Júlio quer encontrar um título apropriado para o mesmo.

Qual das opções abaixo seria o melhor título para o texto de Júlio?

- A O milho queima melhor do que o carvão ou o gás natural.
- B O gás carbônico não é a causa principal do efeito estufa.
- C O milho absorve mais gás carbônico do que o carvão ou o gás natural.
- D O cultivo e a queima do milho não aumentam os níveis de gás carbônico no ar.

Fonte: INEP ([20 --], p. 43-44).

Resposta esperada:

“D. O cultivo e a queima do milho não aumentam os níveis de gás carbônico no ar” (INEP, 2015a, p. 44).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 12 – Análise da questão P14

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Recursos naturais; Global – Riscos</i>	Essa questão pertence ao contexto <i>pessoal</i> , pois discute o consumo individual de materiais para a geração de energia. Além disso, o contexto <i>global</i> é apresentado ao discutir as mudanças climáticas, nesse caso, a emissão do gás carbônico e sua relação com o efeito estufa.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deverá ter a competência de analisar o texto de Júlio e interpretá-lo para chegar à conclusão sobre o título do texto, ou seja, sobre as ideias de que o texto do Júlio retrata.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá interpretar o texto no qual o Júlio defende e justifica as ideias do Sr. Ferweda em relação à utilização do milho como combustível e a sua relação com a emissão de gás carbônico, já que o milho é uma fonte de energia renovável, assim como o etanol proveniente da cana de açúcar. Assim o aluno deverá compreender a resposta de Júlio ao jornal e justificar o seu conhecimento para elaborar um título adequado ao texto.

Figura 14 – Questão P15

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	17 000

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.

Fonte: INEP ([20 --], p. 44)

Resposta esperada:

“D. Dados sobre as quantidades encontradas na atmosfera de cada um dos gases” (INEP, 2015a, p. 44).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 13 – Análise da questão P15

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Recursos naturais; Global – Riscos</i>	Essa questão pertence ao contexto <i>pessoal</i> , pois discute o consumo individual de materiais para a geração de energia. Além disso, o contexto <i>global</i> é apresentado ao discutir as mudanças climáticas, nesse caso, a emissão do gás carbônico e sua relação com o efeito estufa.

<p>Competência: <i>Avaliar e planejar experimentos científicos; interpretar dados e evidências científicas.</i></p>	<p>O aluno deverá ter a competência de avaliar essa investigação científica, descrevendo qual o possível caminho a ser trilhado para que haja uma confiabilidade nos dados e se possa produzir inferências sobre eles, ou seja, ele deverá interpretar a tabela com o efeito estufa relativo a cada uma das moléculas e refletir sobre qual é o outro dado necessário para se chegar a uma conclusão adequada.</p>
<p>Conhecimento: <i>Procedimental.</i></p>	<p>O aluno deverá ter o conhecimento de qual procedimento científico deveria ser tomado para chegar à conclusão de qual gás é o principal responsável pelo aumento do efeito estufa.</p>

As questões sobre o milho permitem ao aluno refletir sobre a utilização de combustíveis renováveis e os possíveis impactos ambientais relacionados ao gás carbônico.

Da forma como são apresentadas as questões, elas propiciam ao aluno uma reflexão sobre a importância da utilização de combustíveis de fontes renováveis em relação aos combustíveis fósseis, na taxa de emissão e absorção do gás carbônico. Além disso, permite ao aluno refletir sobre o efeito estufa em relação ao tipo de gás utilizado, fazendo compreender que as características da molécula e as quantidades presentes em cada uma delas é que irão resultar em uma conclusão adequada sobre qual gás é o principal responsável pelo aumento do efeito estufa.

Na sequência, vamos discorrer sobre as questões P37, P38 e P39 pertencentes ao tema *Efeito estufa* e que compõem a avaliação PISA do ano de 2006.

Figura 15 – Texto e diagramas fornecidos para questões P37 a P39

O EFEITO ESTUFA: FATO OU FICÇÃO?

Os seres vivos necessitam de energia para sobreviver. A energia que mantém a vida sobre a Terra vem do Sol, que irradia energia para o espaço, por ser muito quente. Uma proporção minúscula dessa energia alcança a Terra.

A atmosfera terrestre funciona como uma camada protetora sobre a superfície de nosso planeta, impedindo as variações de temperatura que existiriam em um mundo sem ar.

A maior parte da energia irradiada pelo Sol passa pela atmosfera terrestre. A Terra absorve parte dessa energia e a outra parte é refletida pela superfície terrestre.

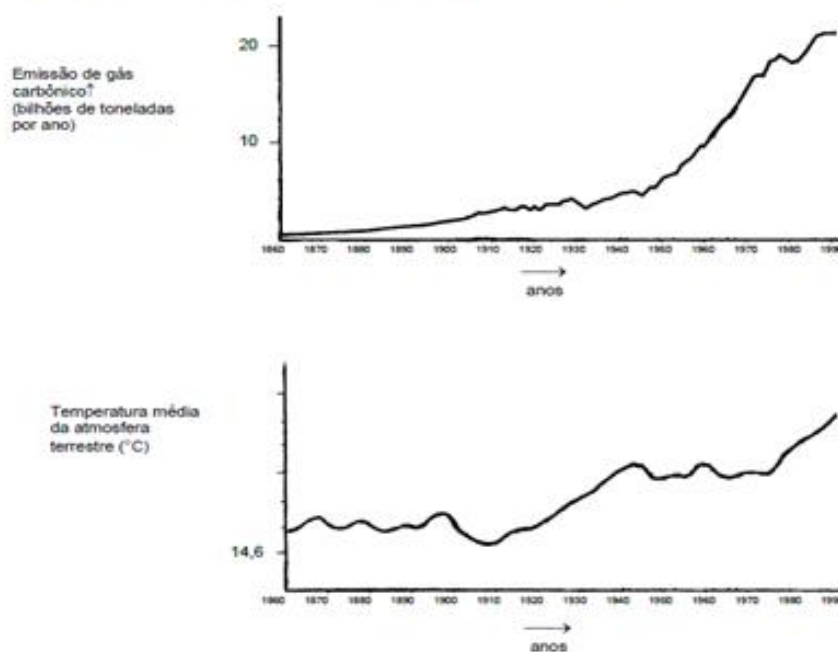
Parte dessa energia refletida é absorvida pela atmosfera.

Como resultado disso, a temperatura média acima da superfície da Terra é mais alta do que seria se não existisse atmosfera. A atmosfera terrestre funciona como uma estufa, daí o termo *efeito estufa*.

O efeito estufa teria ficado mais evidente durante o Século XX.

É um fato que a temperatura média da atmosfera terrestre tem aumentado. Em jornais e revistas, o aumento da emissão do gás carbônico é freqüentemente apontado como o principal responsável pela elevação de temperatura no Século XX.

Um estudante, chamado André, interessou-se pela possível relação entre a temperatura média da atmosfera terrestre e a emissão de gás carbônico na Terra. Em uma biblioteca ele encontrou os dois gráficos abaixo:



André conclui, a partir desses dois gráficos, que é evidente que o aumento da temperatura média da atmosfera terrestre é devido ao aumento da emissão do gás carbônico.

Fonte: INEP ([20 --], p. 110-111).

Figura 16 – Questão P37

O que há nos gráficos que justifica a conclusão de André?

Fonte: INEP ([20 --], p.112).

Resposta esperada:

Refere-se ao aumento (geral) tanto da temperatura (média) quanto da emissão de gás carbônico (Como as emissões aumentaram, a temperatura também aumentou; ambos os gráficos são crescentes; porque em 1910 as duas curvas começaram a crescer; a temperatura aumenta quando há emissões de CO₂; as curvas do gráfico sobem ao mesmo tempo; tudo aumenta; quanto maior a emissão de CO₂, mais a temperatura aumenta) (INEP, [20 --], p. 112).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 14 – Análise da questão P37

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – riscos.</i>	O contexto da questão é global por se tratar de uma mudança climática ocasionada pela emissão do gás carbônico.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de transformar os dados da representação gráfica realizando a interpretação dele, e chegar a conclusões adequadas sobre a relação entre a emissão do gás carbônico e o aumento da temperatura média da atmosfera terrestre.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar os gráficos que trazem a quantidade de gás carbônico emitido no decorrer do ano e o aumento da temperatura média global, e fazer uma relação entre ambos para chegar à conclusão de que o aumento da temperatura média da Terra deve-se a emissão de gás carbônico.

Figura 17 – Questão P38

Uma outra aluna, Jane, discorda da conclusão de André. Ela compara os dois gráficos e diz que algumas partes dos gráficos não justificam sua conclusão.

Dê um exemplo de uma parte do gráfico que não justifica a conclusão de André. Explique a sua resposta.

Fonte: INEP ([20 --], p. 113).

Resposta esperada:

Refere-se a uma parte específica do gráfico na qual as duas curvas não são ascendentes ou descendentes e dá a explicação correspondente: entre 1900-1910 (mais ou menos) a quantidade de CO₂ liberada aumentou, enquanto a temperatura diminuiu; entre 1980-1983 a quantidade de gás carbônico liberada diminuiu e a temperatura aumentou; a temperatura nos anos de 1800 é bastante constante, mas a curva do primeiro gráfico continua a subir; entre 1950-1980 a temperatura não aumentou, mas o CO₂ sim; de 1940 a 1975 a temperatura permanece quase a mesma, mas a emissão de gás carbônico apresenta um nítido aumento; em 1940 a temperatura é bem mais alta do que em 1920, mas as emissões de gás carbônico são semelhantes (INEP, 2015a, p. 113).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 15 – Análise da questão P38

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – riscos.</i>	O contexto da questão é global por se tratar de uma mudança climática ocasionada pela emissão do gás carbônico.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deverá ter a mesma competência em relação à questão anterior: transformar os dados da representação gráfica realizando a interpretação dele, e chegar a conclusões adequadas sobre a relação entre a emissão do gás carbônico e o aumento da temperatura média da atmosfera terrestre.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá ser capaz de compreender raciocínios divergentes (André e Jane) e procurar argumentos que justifiquem as opiniões de ambos,

	fazendo uso dos gráficos.
--	---------------------------

Figura 18 – Questão P39

André mantém sua conclusão, segundo a qual o aumento na média da temperatura da atmosfera terrestre é causado pelo aumento da emissão de gás carbônico. Mas Jane acha que sua conclusão é prematura. Ela diz: “Antes de aceitar essa conclusão você deve estar certo de que outros fatores que poderiam influenciar o efeito estufa estão constantes”.

Cite um dos fatores a que Jane se refere.

Fonte: INEP ([20 --],p. 115).

Resposta esperada:

Dá um fator relativo à energia/radiação vinda do sol: o calor do sol e talvez a mudança de posição da Terra; a energia solar refletida pela Terra. Dá um fator relativo a um componente natural ou a um agente poluente potencial: vapor de água no ar; nuvens; fenômenos tais como as erupções vulcânicas; poluição atmosférica (gás, combustível); a quantidade de gases de escapamentos; CFC; o número de carros; ozônio (como componente do ar) (INEP, [20 --], p. 115).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 16 – Análise da questão P39

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – riscos.</i>	O contexto da questão é global por se tratar de uma mudança climática ocasionada pela emissão de gás carbônico
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de analisar outros fatores que poderiam influenciar o efeito estufa quanto à sua constância e tecer conclusões científicas apropriadas.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ser capaz de compreender o processo de aumento da temperatura da Terra e quais variáveis podem contribuir para isso.

As questões de número P37 a P39 permitem ao aluno refletir sobre o efeito estufa e os possíveis fatores que o influenciam, sob diferentes perspectivas, justificando conclusões opostas e realizando análises em diferentes perspectivas da representação gráfica. Portanto, são questões que exigem para além do conhecimento do conteúdo, mas um posicionamento mediante situações de opiniões divergentes sobre fatores ambientais de interesse global.

Sobre as questões de número P51 a P53 apresentadas na sequência, elas possuem a temática *Combustíveis fósseis* e pertencem à prova PISA de 2015. Elas diferem das questões analisadas anteriormente quanto ao formato, já que a partir desse ano as provas foram realizadas no computador. Relembrando o que tratamos no capítulo anterior, quanto às dimensões do Letramento Científico (contexto, competência e conhecimento), todos os itens disponíveis dessa prova (2015) já trazem, na sequência, as dimensões discriminadas e nós as utilizaremos para posterior discussão.

Figura 19 – Questão P51

Combustíveis Fósseis

Questão 1 / 4

Consulte "Combustíveis Fósseis" à direita. Clique em uma opção para responder à questão.

Utilizar biocombustíveis não tem o mesmo efeito no nível de CO_2 na atmosfera do que utilizar combustíveis fósseis. Qual das afirmativas abaixo melhor explica por quê?

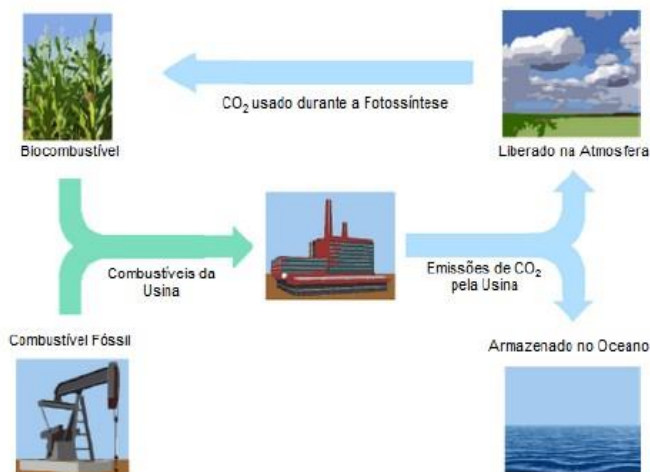
- Biocombustíveis não liberam CO_2 quando queimados.
- Plantas usadas para produção de biocombustíveis absorvem CO_2 da atmosfera à medida que crescem.
- A medida que queimam, biocombustíveis absorvem CO_2 da atmosfera.
- O CO_2 liberado pelas usinas que utilizam biocombustível tem diferentes propriedades químicas daquele liberado pelas usinas que usam combustíveis fósseis.

COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Muitas usinas queimam combustível à base de carbono e emitem dióxido de carbono (CO_2). O CO_2 liberado na atmosfera tem um impacto negativo no clima global. Engenheiros têm utilizado diferentes estratégias para reduzir a quantidade de CO_2 liberada na atmosfera.

Uma dessas estratégias é queimar biocombustíveis ao invés de combustíveis fósseis. Enquanto combustíveis fósseis vêm de organismos mortos há muito tempo, biocombustíveis vêm das plantas que viveram e morreram recentemente.

Outra estratégia envolve o sequestro de uma porção de CO_2 emitido pelas usinas para armazená-lo no subsolo ou no oceano. Essa estratégia é chamada de captura e armazenamento de carbono.



Fonte: INEP (2015a, p. 11).

Resposta esperada:

Os estudantes devem usar conteúdo de conhecimento científico apropriado para explicar por que o uso de biocombustíveis derivados de plantas não afeta os níveis de CO_2 na atmosfera, do mesmo modo que a queima de combustíveis fósseis. A segunda opção é a resposta correta: plantas usadas na produção de biocombustíveis absorvem CO_2 na medida em que crescem (INEP, 2015a, p. 11).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento (conteúdo, procedimental ou epistêmico), temos que:

- Contexto: *local/nacional – recursos naturais* (INEP, 2015a, p. 11).
- Competência: *explicar fenômenos cientificamente* (INEP, 2015a, p. 11).

- Conhecimento: *conteúdo - Sistemas físicos* (INEP, 2015a, p. 11).

Figura 20 – Questão P52

Combustíveis Fósseis
Questão 2 / 4

Consulte "Combustíveis Fósseis" à direita. Digite suas respostas às questões.

Apesar das vantagens dos biocombustíveis para o meio ambiente, combustíveis fósseis ainda são largamente usados. A tabela seguinte compara a energia e o CO₂ liberados quando o petróleo e etanol são queimados. Petróleo é um combustível fóssil, ao passo que etanol é um biocombustível.

Fonte de Combustível	Energia Liberada (kJ de energia/g de combustível)	Dióxido de Carbono Liberado (mg de CO ₂ /kJ de energia produzida pelo combustível)
Petróleo	43,6	78
Etanol	27,3	59

De acordo com a tabela, por que alguém deveria preferir usar petróleo ao invés de etanol, mesmo que seu custo seja o mesmo?

De acordo com a tabela, qual é a vantagem ambiental do uso do etanol ao invés do petróleo?

COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Muitas usinas queimam combustível à base de carbono e emitem dióxido de carbono (CO₂). O CO₂ liberado na atmosfera tem um impacto negativo no clima global. Engenheiros têm utilizado diferentes estratégias para reduzir a quantidade de CO₂ liberada na atmosfera.

Uma dessas estratégias é queimar biocombustíveis ao invés de combustíveis fósseis. Enquanto combustíveis fósseis vêm de organismos mortos há muito tempo, biocombustíveis vêm das plantas que viveram e morreram recentemente.

Outra estratégia envolve o sequestro de uma porção de CO₂ emitido pelas usinas para armazená-lo no subsolo ou no oceano. Essa estratégia é chamada de captura e armazenamento de carbono.

O diagrama ilustra o ciclo de carbono em usinas. No topo, uma seta azul aponta da direita para a esquerda, rotulada "CO₂ usado durante a Fotossíntese", conectando "Liberado na Atmosfera" (representado por uma paisagem com nuvens) a "Biocombustível" (representado por milho). Abaixo, "Combustível Fóssil" (representado por uma bomba de petróleo) alimenta uma "Usina". Uma seta verde aponta da esquerda para a direita, rotulada "Combustíveis da Usina". Uma seta azul aponta da direita para a esquerda, rotulada "Emissões de CO₂ pela Usina", conectando a usina a "Liberado na Atmosfera". Uma seta azul aponta da direita para a esquerda, rotulada "Armazenado no Oceano", conectando a usina a uma imagem do oceano.

Fonte: INEP (2015a, p. 12).

Resposta esperada:
O item solicita ao estudante que analise os dados apresentados na tabela para comparar o etanol e o petróleo como fontes de combustível. Os estudantes devem argumentar que as pessoas devem preferir o petróleo sobre o etanol porque ele (petróleo) libera mais energia com o mesmo custo e que o etanol apresenta uma vantagem ambiental sobre o petróleo porque ele libera menos dióxido de carbono (INEP, 2015a, p. 12).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento (conteúdo, procedimental ou epistêmico), temos que:

- Contexto: *local/nacional – recursos naturais* (INEP, 2015a, p. 12).

- Competência: *interpretar dados e evidências cientificamente* (INEP, 2015a, p. 12).
- Conhecimento: *procedimental* (INEP, 2015a, p. 12)

Figura 21 – Questão P53

Combustíveis Fósseis
Questão 3 / 4

Consulte "Captura e Armazenamento de Carbono" à direita. Digite sua resposta à questão.

Use os dados no gráfico para explicar como a profundidade afeta a eficácia a longo prazo do armazenamento de CO₂ no oceano.

COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS
Captura e Armazenamento do Carbono

Captura e armazenamento do carbono envolve o sequestro de uma porção de CO₂ emitido pelas usinas e o armazenamento onde ele não possa ser liberado de volta à atmosfera. Um local possível para armazenar o CO₂ é no oceano porque o CO₂ se dissolve na água.

Cientistas desenvolveram um modelo matemático para calcular o percentual de CO₂ que continua armazenado depois que é bombeado para dentro do oceano em três profundidades diferentes (800 metros, 1 500 metros, e 3 000 metros). O modelo assume que o CO₂ foi bombeado para dentro do oceano no ano 2000. O gráfico abaixo mostra os resultados desse modelo.

Ano	800 m de profundidade (%)	1 500 m de profundidade (%)	3 000 m de profundidade (%)
2000	100	100	100
2050	85	95	98
2100	65	85	95
2150	45	75	90
2200	35	65	85
2250	28	58	80
2300	22	50	75
2350	18	45	70
2400	15	40	65
2450	13	35	62
2500	12	30	60

Fonte: INEP (2015a, p. 13)

Resposta esperada:
Os estudantes devem interpretar os dados apresentados no gráfico e fornecer uma explicação que resuma os resultados encontrados, ou seja, de que o dióxido de carbono armazenado mais profundamente no oceano propicia melhor taxa de retenção do que o armazenamento em profundidades menores (INEP, 2015a, p. 13).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento (conteúdo, procedimental ou epistêmico), temos que:

- Contexto: *local/nacional – recursos naturais* (INEP, 2015a, p. 13).

- Competência: *interpretar dados e evidências cientificamente* (INEP, 2015a, p. 13).
- Conhecimento: *procedimental* (INEP, 2015a, p. 13)

As questões P51 a P53 já foram analisadas quanto à dimensão do Letramento Científico pelo PISA, mas foram apresentadas aqui, pois apresentam a temática discutida nesse tópico e, mesmo assim, permite realizarmos reflexões sobre as dimensões apresentadas.

Esses itens são ricos quanto à variedade de representações dos dados, exigindo do aluno a interpretação de uma figura, uma tabela e um gráfico, além da justificativa para escolhas sob diferentes perspectivas.

Duas das três questões apresentadas, exigem do aluno interpretar os dados da tabela ou gráfico e tecer conclusões com base nas evidências científicas apropriadas ao refletir sobre as vantagens e desvantagens da utilização do petróleo no comparativo com o etanol, e sobre a captura e armazenamento do gás carbônico no oceano, sendo necessário para isso, ter o conhecimento procedimental.

Um apontamento importante ao analisarmos os três itens, é que eles permitem ao aluno refletir sobre a dualidade combustíveis fósseis *versus* biocombustíveis quanto à produção de energia e a emissão de dióxido de carbono, tirando conclusões apropriadas, sem exigir do aluno algum conceito que ele tenha memorizado, ao contrário, ele deve realizar a interpretação dos dados fornecidos na figura, tabela ou gráfico.

A questão P55, apresentada na sequência, é a quarta questão da avaliação PISA do ano de 2015 pertencente ao tema *Erupções vulcânicas*. As demais não serão discutidas aqui por não pertencerem ao tema *gás carbônico ou dióxido de carbono*.

Figura 22 – Questão P55

Erupções Vulcânicas
 questão 4 / 4

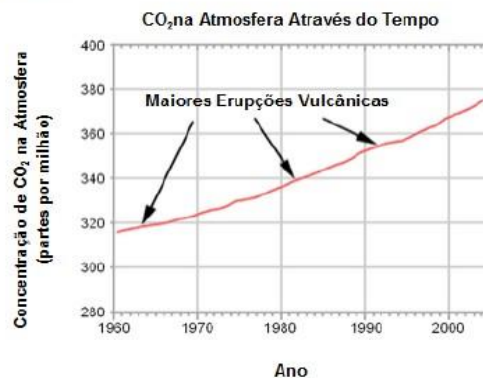
Consulte "Dióxido de Carbono Atmosférico" à direita.
 Clique na opção para responder a questão.

Baseado nas informações fornecidas, qual efeito as erupções vulcânicas tem na concentração de dióxido de carbono na atmosfera?

- Um grande efeito, pois houve muitas erupções.
- Um grande efeito, pois cada erupção lança uma grande quantidade de material no ar.
- Um pequeno efeito, pois vulcões liberam pouco CO₂ comparado com outras fontes.
- Um pequeno efeito, pois os níveis de CO₂ na atmosfera diminuem durante as erupções.

ERUPÇÕES VULCÂNICAS
 Dióxido de Carbono Atmosférico

Vulcões emitem dióxido de carbono (CO₂) durante as erupções. O gráfico abaixo mostra concentrações de dióxido de carbono atmosférico medidas por cientistas desde 1960.



A tabela abaixo mostra a contribuição relativa das diferentes fontes de dióxido de carbono na atmosfera.

Fonte	Contribuição de CO ₂ na Atmosfera
Emissões vulcânicas	< 1%
Emissões causadas por humanos	20%
Respiração de plantas	40%
Respiração e decomposição microbiana	40%

Fonte: INEP (2015a, p.16).

Resposta esperada:

Os estudantes devem interpretar os dados fornecidos que confirmem a terceira resposta, a qual afirma que os vulcões têm um efeito menor na concentração de dióxido de carbono na atmosfera porque emitem pouco CO₂, comparado a outras fontes (INEP, 2015a, p. 16).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento (conteúdo, procedimental ou epistêmico), temos que:

- Contexto: *Global – riscos* (INEP, 2015a, p.16).
- Competência: *interpretar dados e evidências cientificamente* (INEP, 2015a, p.16).
- Conhecimento: *procedimental* (INEP, 2015a, p.16).

Nesse item o aluno deve ser capaz de interpretar o gráfico e a tabela quanto ao aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, ao longo dos anos, e a baixa quantidade emitida pelos vulcões, chegando à

conclusão de que eles não contribuem significativamente com a concentração de dióxido de carbono na atmosfera.

Na sequência apresentamos as questões E4 e E5 que correspondem ao caderno azul da prova do ENEM de 2012.

Figura 23 – Questão E4

QUESTÃO 59

No Japão, um movimento nacional para a promoção da luta contra o aquecimento global leva o *slogan*: **1 pessoa, 1 dia, 1 kg de CO₂ a menos!** A ideia é cada pessoa reduzir em 1 kg a quantidade de CO₂ emitida todo dia, por meio de pequenos gestos ecológicos, como diminuir a queima de gás de cozinha.

Um hambúrguer ecológico? É pra já! Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br>. Acesso em: 24 fev. 2012 (adaptado).

Considerando um processo de combustão completa de um gás de cozinha composto exclusivamente por butano (C₄H₁₀), a mínima quantidade desse gás que um japonês deve deixar de queimar para atender à meta diária, apenas com esse gesto, é de

Dados: CO₂ (44 g/mol); C₄H₁₀ (58 g/mol)

- A 0,25 kg.
- B 0,33 kg.
- C 1,0 kg.
- D 1,3 kg.
- E 3,0 kg.

Fonte: ENEM (2012, p. 19).

Resposta esperada:
Alternativa B - 0,33 Kg.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 17 – Análise da questão E4

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – riscos.</i>	O contexto da questão é global por se tratar de uma mudança climática ocasionada pela emissão do gás

	carbônico.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	Para solucionar essa questão, basta que o aluno lembre e aplique o conhecimento científico apropriado.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar que a queima do butano libera o gás carbônico que contribui para o aquecimento global e, posteriormente, fazer a reação de combustão do gás e calcular, utilizando a massa molar, a quantidade de gás que produz 1kg de gás carbônico.

Em síntese, trata-se de uma questão bem contextualizada, contudo, não exige do estudante uma interpretação de diferentes representações, tampouco uma reflexão e posicionamento sobre situações divergentes desse contexto. Para solucioná-la basta que ele tenha um conhecimento do conteúdo memorizado e desenvolva uma reação química com proporções matemáticas.

Quanto à questão E5 do mesmo caderno de provas:

Figura 24 – Questão E5

QUESTÃO 63

Há milhares de anos o homem faz uso da biotecnologia para a produção de alimentos como pães, cervejas e vinhos. Na fabricação de pães, por exemplo, são usados fungos unicelulares, chamados de leveduras, que são comercializados como fermento biológico. Eles são usados para promover o crescimento da massa, deixando-a leve e macia.

O crescimento da massa do pão pelo processo citado é resultante da

- A liberação de gás carbônico.
- B formação de ácido láctico.
- C formação de água.
- D produção de ATP.
- E liberação de calor.

Fonte: ENEM (2012, p.21).

Resposta esperada:
alternativa A – liberação de gás carbônico.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 18 – Análise da questão E5

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – recursos naturais.</i>	Essa questão possui esse contexto por apresentar um processo de produção de alimentos chamado fermentação, no qual o dióxido de carbono, tema discutido, é o produto resultante desse processo.

Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico apropriado, ou seja, lembrar como se dá o processo de fermentação que resulta no gás carbônico e faz a massa crescer.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá saber que em uma reação de fermentação as leveduras transformam a glicose em outros produtos e energia, sendo um desses produtos o gás carbônico, que implica no crescimento da massa.

Em síntese, trata-se de uma questão com pouca exigência cognitiva, que solicita ao aluno o conhecimento do conteúdo (sistemas físicos) referente às mudanças químicas da matéria, em específico ao processo de fermentação e o produto gerado por ele, que resulta no crescimento do pão.

A questão seguinte corresponde ao caderno azul da prova do ENEM de 2013.

Figura 25 – Questão E28**QUESTÃO 77**

A produção de aço envolve o aquecimento do minério de ferro, junto com carvão (carbono) e ar atmosférico em uma série de reações de oxirredução. O produto é chamado de ferro-gusa e contém cerca de 3,3% de carbono. Uma forma de eliminar o excesso de carbono é a oxidação a partir do aquecimento do ferro-gusa com gás oxigênio puro. Os dois principais produtos formados são aço doce (liga de ferro com teor de 0,3% de carbono restante) e gás carbônico. As massas molares aproximadas dos elementos carbono e oxigênio são, respectivamente, 12 g/mol e 16 g/mol.

LEE, J. D. *Química Inorgânica não tão concisa*. São Paulo: Edgard Blucher, 1999 (adaptado).

Considerando que um forno foi alimentado com 2,5 toneladas de ferro-gusa, a massa de gás carbônico formada, em quilogramas, na produção de aço doce, é mais próxima de

- A 28.
- B 75.
- C 175.
- D 275.
- E 303.

Fonte: ENEM (2013, p. 26).

Resposta esperada:
alternativa D – 275.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 19 – Análise da questão E28

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – Fronteiras da ciência e tecnologia.</i>	Essa questão aborda esse contexto por tratar da produção de novos materiais a partir de uma série de reações químicas.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico apropriado.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ser capaz de recordar o conhecimento memorizado sobre as

	reações químicas da matéria e calcular a proporção entre os materiais envolvidos para determinar a quantidade de gás carbônico que é formado na produção do aço.
--	--

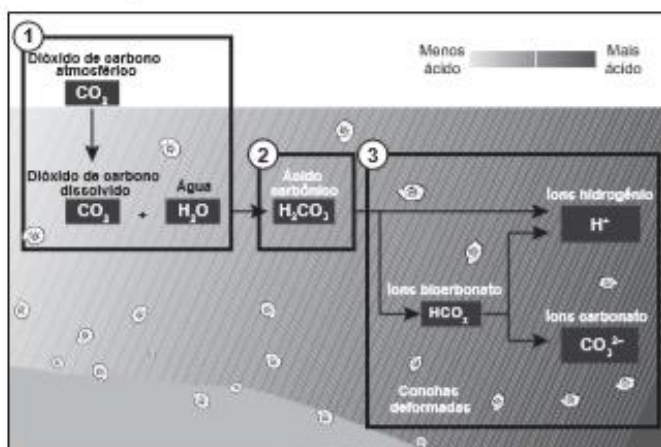
Nesse contexto o gás carbônico é apresentado como resultado da reação de produção de aço, contudo não há discussões sobre o problema desse subproduto gerado e as implicações no que diz respeito a impactos ambientais. Solicita apenas que o aluno realize o cálculo da quantidade de gás carbônico gerado.

A questão E41 corresponde ao caderno azul da prova do ENEM de 2014.

Figura 26 – Questão E41

QUESTÃO 71

Parte do gás carbônico da atmosfera é absorvida pela água do mar. O esquema representa reações que ocorrem naturalmente, em equilíbrio, no sistema ambiental marinho. O excesso de dióxido de carbono na atmosfera pode afetar os recifes de corais.



Disponível em: <http://news.bbc.co.uk>. Acesso em: 20 maio 2014 (adaptado).

O resultado desse processo nos corais é o(a)

- A seu branqueamento, levando à sua morte e extinção.
- B excesso de fixação de cálcio, provocando calcificação indesejável.
- C menor incorporação de carbono, afetando seu metabolismo energético.
- D estímulo da atividade enzimática, evitando a descalcificação dos esqueletos.
- E dano à estrutura dos esqueletos calcários, diminuindo o tamanho das populações.

Fonte: ENEM (2014, p. 26).

Resposta esperada:

alternativa E – dano à estrutura dos esqueletos calcários, diminuindo o tamanho das populações.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 20 – Análise da questão E41

Critério	Análise
Contexto: <i>global – riscos.</i>	Refere-se a um contexto <i>global – riscos</i> por se referir ao impacto do excesso de dióxido de carbono na atmosfera para os recifes e corais.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de transformar os dados de uma representação para outra ao analisar a imagem e tirar conclusões sobre o produto formado, e quais as implicações dele para os corais.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar o esquema de absorção de gás carbônico pela água do mar e o processo de conversão desse gás, para posteriormente analisar quais as implicações de um meio ácido nos corais.

Essa questão traz um contexto que aborda o problema do excesso de dióxido de carbono no ambiente aquático, permitindo ao aluno refletir sobre como esse composto químico pode influenciar esse meio, exigindo do mesmo uma compreensão de diferentes representações (texto e imagem) para a reflexão sobre as possíveis implicações, que vai além de um conhecimento unicamente do conteúdo.

A questão E163, apresentada na sequência, corresponde ao caderno azul da prova do ENEM de 2020, aplicação digital.

Figura 27 – Questão E163

Questão 104 - Ciências da Natureza e suas Tecnologias

A combustão completa de combustíveis fósseis produz água e dióxido de carbono (CO_2 , massa molar 44 g mol^{-1}). A União Europeia estabeleceu, desde 2012, limite de emissão veicular de 130 g de CO_2 por quilômetro rodado (valor aplicável a uma média de veículos de um mesmo fabricante), tendo como penalidade multa, caso o fabricante ultrapasse a meta. A gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos com cerca de oito carbonos em sua composição, incluindo isômeros do octano (C_8H_{18}). Considere que em uma cidade o consumo médio diário dos carros de um fabricante seja de 10 km L^{-1} de gasolina, formada apenas por octano (massa molar 114 g mol^{-1}) e que sua densidade seja $0,70 \text{ kg L}^{-1}$.

A diferença de emissão de CO_2 dos carros desse fabricante em relação ao limite estabelecido na União Europeia é

- (A) 80% menor.
- (B) 60% menor.
- (C) 46% menor.
- (D) 108% maior.
- (E) 66% maior.

Fonte: ENEM (2020a, p. 18).

Resposta esperada:
alternativa E – 66% maior

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 21 – Análise da questão E163

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar de uma ação ambientalmente amigável ao estabelecer um limite de emissão de dióxido de carbono.

Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico apropriado.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deve ser capaz de calcular a quantidade de dióxido emitida pelo veículo e realizar o comparativo com o limite estabelecido pela União Europeia.

Apesar do contexto de uma ação que visa reduzir a emissão de dióxido, a questão exige do aluno apenas o cálculo estequiométrico com o intuito de estabelecer a proporção de dióxido emitida pelo veículo simulado e o comparativo com o limite estabelecido pela União Europeia. Além disso, citou-se que a gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos com quantidades variáveis de átomos de carbono, mas a admitiram como uma substância pura ao solicitar ao aluno que considerasse sua composição formada somente por octano. Isso pode gerar um erro conceitual em outras situações para além da avaliação, na qual o aluno passa a admitir que a gasolina é um octano quando, na verdade, é uma mistura de várias substâncias.

As questões E184 e E189, apresentadas na sequência, correspondem ao caderno azul da prova do ENEM de 2020, aplicação regular.

Figura 28 – Questão E184

Questão 103 

O dióxido de carbono passa para o estado sólido (gelo seco) a $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ e retorna ao estado gasoso à temperatura ambiente. O gás é facilmente solubilizado em água, capaz de absorver radiação infravermelha da superfície da terra e não conduz eletricidade. Ele é utilizado como matéria-prima para a fotossíntese até o limite de saturação. Após a fixação pelos organismos autotróficos, o gás retorna ao meio ambiente pela respiração aeróbica, fermentação, decomposição ou por resíduos industriais, queima de combustíveis fósseis e queimadas. Apesar da sua importância ecológica, seu excesso causa perturbações no equilíbrio ambiental.

Considerando as propriedades descritas, o aumento atmosférico da substância afetará os organismos aquáticos em razão da

- A** redução do potencial hidrogeniônico da água.
- B** restrição da aerobiose pelo excesso de poluentes.
- C** diminuição da emissão de oxigênio pelos autótrofos.
- D** limitação de transferência de energia entre os seres vivos.
- E** retração dos oceanos pelo congelamento do gás nos polos.

Fonte: ENEM (2020b, p.6).

Resposta esperada:
alternativa A – redução do potencial hidrogeniônico da água.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 22 – Análise da questão E184

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – riscos.</i>	Refere-se a um contexto <i>global – riscos</i> por se referir ao impacto do excesso de dióxido de carbono na atmosfera.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de identificar no texto o trecho que trata da solubilidade do dióxido de carbono e gerar um modelo explicativo para o produto da reação entre ele e a água.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá interpretar o enunciado que diz sobre a solubilidade do dióxido de carbono em água e ter o conhecimento do conteúdo de reações químicas para determinar o produto resultante, sendo ele o ácido carbônico, e as consequências dele para o meio: a redução do pH.

Ao analisarmos essa questão, podemos perceber que ela trata da mesma discussão apresentada anteriormente na Figura 26 – Questão E41, sobre os impactos do dióxido de carbono no ambiente aquático, o que nos permite realizar outras reflexões sobre elas.

A questão E41 trata da redução do pH ao apresentar o esquema sobre a formação do ácido carbônico quando o dióxido de carbono reage com a água, e refletir sobre quais implicações para os corais. Por isso exige do aluno um conhecimento epistêmico, já que para solucioná-la ele deve produzir explicações do mundo natural, baseado na natureza das observações científicas apresentadas no esquema. Já em relação à questão E184, para solucioná-la o aluno deve conhecer a reação que ocorre nesse meio, ou seja, o processo de conversão do dióxido em meio ácido que implica na redução do pH, exigindo do aluno o

conhecimento do conteúdo para solucioná-lo.

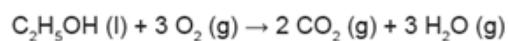
Nesse caso, conseguimos estabelecer um comparativo interessante entre as questões de conhecimento epistêmico e do conteúdo, ficando evidente a exigência de percepções diferenciadas, permitindo a reflexão sobre a formação do aluno para responder às questões com essas exigências. Para proporcionar ao aluno o conhecimento do conteúdo, sabemos que o modelo tradicional de ensino é suficiente, no qual o conhecimento se dá pelo acúmulo de informações transmitidas pelo professor e recebidas pelo aluno. Já no conhecimento epistêmico, precisamos formar alunos capazes de realizar interpretações de representações diferentes e reflexões sobre situações divergentes, posicionando-se sobre elas de forma crítica. Para isso, é necessário muito além de um ensino memorístico, sendo que podemos recorrer às diferentes abordagens/enfoques/perspectivas para o ensino de Química como: a abordagem CTS de ensino, Ensino por investigação, Projetos temáticos, Unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS), Três momentos pedagógicos, etc.

Na sequência, apresentamos a questão E189 e a discussão da mesma:

Figura 29 – Questão E189

Questão 120

O crescimento da frota de veículos em circulação no mundo tem levado à busca e desenvolvimento de tecnologias que permitam minimizar emissões de poluentes atmosféricos. O uso de veículos elétricos é uma das propostas mais propagandeadas por serem de emissão zero. Podemos comparar a emissão de carbono na forma de CO₂ (massa molar igual a 44 g mol⁻¹) para os dois tipos de carros (a combustão e elétrico). Considere que os veículos tradicionais a combustão, movidos a etanol (massa molar igual a 46 g mol⁻¹), emitem uma média de 2,6 mol de CO₂ por quilômetro rodado, e os elétricos emitem o equivalente a 0,45 mol de CO₂ por quilômetro rodado (considerando as emissões na geração e transmissão da eletricidade). A reação de combustão do etanol pode ser representada pela equação química:



Foram analisadas as emissões de CO₂ envolvidas em dois veículos, um movido a etanol e outro elétrico, em um mesmo trajeto de 1 000 km.

CHIARADIA, C. A. Estudo da viabilidade da implantação de frotas de veículos elétricos e híbridos elétricos no atual cenário econômico, político, energético e ambiental brasileiro. Guaratinguetá: Unesp, 2015 (adaptado).

A quantidade equivalente de etanol economizada, em quilograma, com o uso do veículo elétrico nesse trajeto, é mais próxima de

- A** 50.
- B** 60.
- C** 95.
- D** 99.
- E** 120.

Fonte: ENEM (2020b, p.11).

Resposta esperada:
alternativa A – 50.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 23 – Análise da questão E189

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar de ações ambientalmente amigáveis com

	o intuito de minimizar a emissão de poluentes atmosféricos.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de identificar as proporções descritas em relação à emissão do dióxido de carbono pelos dois veículos e aplicar o conhecimento estequiométrico para solucioná-la.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deve ser capaz de calcular a quantidade de dióxido emitida pelos veículos ao percorrerem 1000 Km, encontrar a diferença de dióxido emitida por eles e por estequiometria, calcular a quantidade equivalente de etanol.

A questão apresenta um contexto interessante ao destacar as proporções de dióxido emitidas pelos dois veículos. Contudo, apresenta os veículos elétricos como uma vantagem por ser emissão zero e solicita o cálculo do etanol gasto no comparativo com o carro elétrico ao percorrer a mesma distância, exigindo o conhecimento do conteúdo. Ao invés disso, o INEP poderia apresentar os dados em relação à quantidade de dióxido de carbono emitidos nos dois veículos e discutir sobre os possíveis problemas na geração de energia elétrica em alta demanda, e desenvolver um problema no qual os alunos reflitam e se posicionem sobre a vantagem e a desvantagem dos dois tipos de carro em relação aos impactos ambientais causados. Isso permitiria ao aluno uma reflexão que poderia causar implicações em seu cotidiano ao despertar a consciência sobre a emissão de gases poluentes pelos veículos e sobre o problema na geração de energia elétrica.

Após o estudo quanto às dimensões do Letramento Científico, sintetizamos as análises, estabelecendo conexões entre PISA e ENEM. Para dar início, realizamos um resumo organizado no quadro 9, apresentado na sequência, para que possamos ter uma visibilidade de toda a temática

Quadro 24 – Análises do tema Gás carbônico

Questões	Contexto	Competência	Conhecimento
P1	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico

P2	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
P13	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
P14	Pessoal	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
P15	Pessoal e Global	Avaliar e planejar experimentos científicos; interpretar dados e evidências cientificamente.	Procedimental
P37	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
P38	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
P39	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
P51	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
P52	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
P53	local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
P55	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E4	Global	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E5	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E28	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E41	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
E163	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente.	Conteúdo
E184	Global	Explicar fenômenos cientificamente.	Conteúdo
E189	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente.	Conteúdo

Fonte: o próprio autor.

O primeiro ponto que podemos ressaltar refere-se à quantidade de questões que compõem esse tema. Sabemos que o número de itens referentes ao ENEM com conteúdo de Química que separamos (196 questões), é bem maior se comparado ao número de questões da prova PISA (59 questões), já que o ENEM

acontece anualmente e a prova PISA não, mas essa temática contém uma fração maior de questões PISA do que ENEM.

Em relação ao **contexto**, das doze questões pertencentes à prova PISA, sete delas trazem contextos Globais que levam o aluno a refletir sobre a emissão de gás carbônico e a sua relação com a elevação da temperatura na terra, e quais atividades humanas têm contribuído para isso. Quanto ao contexto das questões do ENEM, das sete questões que compõem essa temática, três trazem um contexto Global, mas apenas uma cita o aquecimento global.

Vieira e Bazzo (2007) enfatizam a importância de se discutir o aquecimento global, já que grande parte das informações que os alunos têm sobre o assunto, passa uma imagem de um fenômeno catastrofista e indiscutível, no qual há um consenso científico. Contudo, esse é um tema que gera controvérsias acerca de suas causas, e a abordagem de situações controversas em sala de aula, proporciona aos alunos uma imagem realista da ciência.

Fazendo relação com o número de questões que tratamos anteriormente e o contexto delas, fica evidente que a prova PISA procura tratar de assuntos ou temas de interesse global, trazendo os riscos que algumas ações humanas podem acarretar e as possíveis atitudes que podem ser tomadas para evitar, o que demonstra o comprometimento com a formação do aluno, de maneira que a prova não é apenas de uma avaliação para somente quantificar o que o aluno sabe sobre determinado conteúdo, mas para orientá-lo sobre situações que implicam em problemas que são de responsabilidade de todos e como podemos contê-los.

No decorrer das análises, ficou evidente que a maioria das questões de Química do ENEM exigem do aluno a **competência** de *explicar fenômenos cientificamente (Reconhecer, oferecer e avaliar explicações para fenômenos naturais e tecnológicos)* e o conhecimento do *conteúdo*, enquanto que a maioria das questões da prova PISA exige do aluno a competência de *interpretar dados e evidências cientificamente (Analisar e avaliar dados, suposições e argumentos em representações variadas e tecer conclusões científicas apropriadas ao contexto)* e o conhecimento procedimental ou epistêmico. Dessa forma, para resolver as questões do ENEM que apresentamos anteriormente sobre o gás

carbônico, o aluno necessita apenas ter a competência de explicar um fenômeno científico, sem a necessidade de interpretá-lo.

Mesmo considerando que na matriz de referência para a prova de Ciência do PISA não existe um critério nítido demonstrando que *explicar fenômenos cientificamente*, *interpretar dados e evidências cientificamente* e *avaliar e planejar experimentos científicos* estão respectivamente, em uma escala crescente de complexidade e exigência, podemos inferir nessa temática que a competência de *explicar fenômenos cientificamente* requer um grau de conhecimento menor do que o necessário para *interpretar dados e evidências cientificamente*, conforme apresentamos no quadro 10.

Quadro 25 – Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática gás carbônico

Competência	Conhecimento
<i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	Conteúdo
<i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	Epistêmico

Fonte: o próprio autor.

Para essa temática, enquanto a competência de *explicar fenômenos cientificamente* requer o conhecimento do conteúdo, a competência de *interpretar dados e evidências cientificamente*, requer o conhecimento epistêmico.

Acerca do **conhecimento**, no comparativo PISA/ENEM, das questões PISA analisadas nessa categoria, seis exigem do aluno o conhecimento epistêmico, ou seja, exige que o aluno compreenda o raciocínio por traz da questão e saiba justificá-lo, enquanto apenas uma questão do ENEM faz essa exigência.

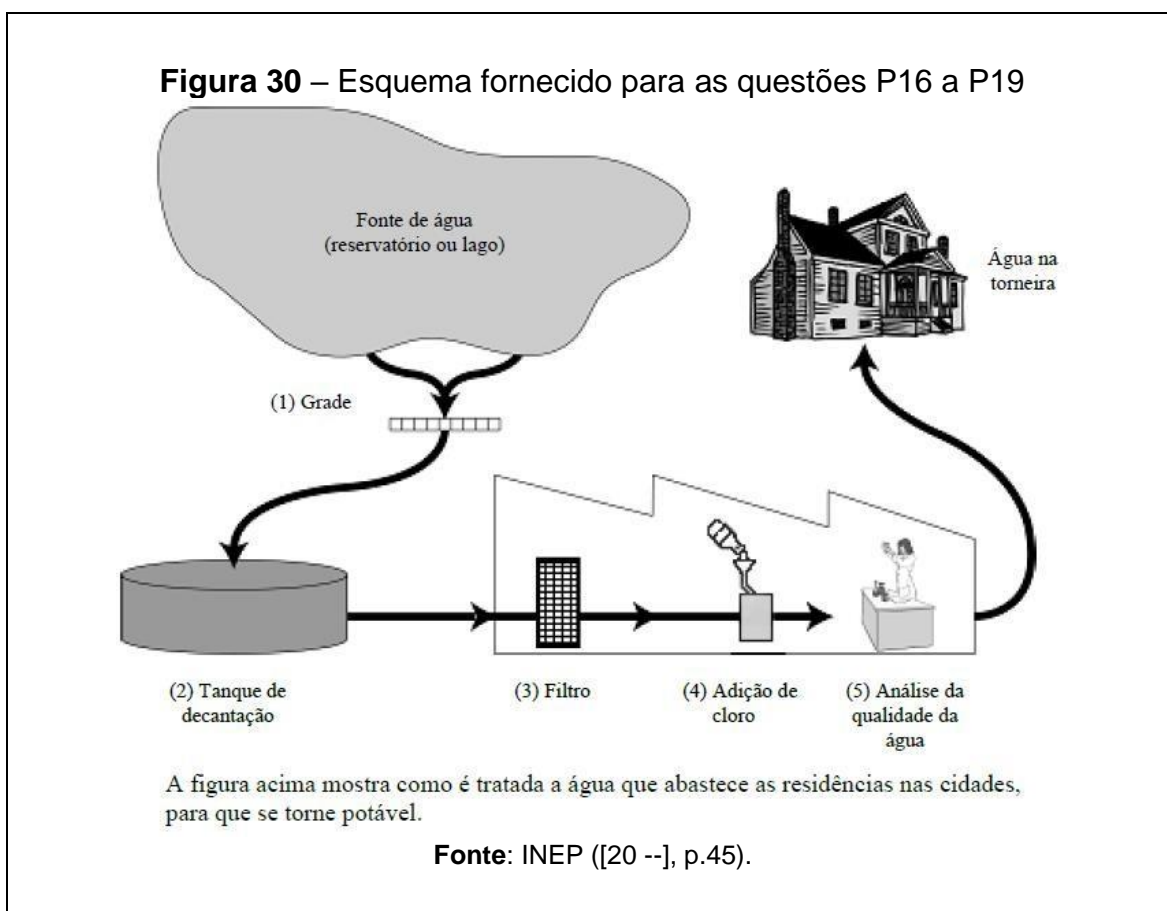
Em síntese, podemos perceber que as questões do ENEM não trouxeram a temática relacionada ao problema do aquecimento global, algo que poderia ser ressaltado, já que é um problema que tem assolado a humanidade. E que a exigência em relação ao aluno, predominantemente, não é de como as ideias são produzidas (procedimental) ou do raciocínio e justificativa para o seu uso (epistêmico), mas de um conteúdo em si necessário para resolver aquele problema.

Na sequência apresentamos a análise das questões sobre a temática água.

4.2 ÁGUA

Ao realizarmos as codificações das questões, outra temática evidente quanto ao número de itens foi a temática água. Para compor esse tema, selecionamos nove questões nas provas PISA e seis questões nas provas do ENEM, sendo elas: P16, P17, P18, P19, P26, P27, P41, P56, P57, E23, E29, E30, E33, E96 e E147.

Iniciamos as análises com as questões P16 a P19 que correspondem às provas do período de 2000 a 2006 com o tema Água potável.



Utilizando como base a figura anterior, a questão P16 é apresentada:

Figura 31 – Questão P16

É importante ter uma fonte de água potável de boa qualidade. A água encontrada no subsolo é conhecida como **água subterrânea**.

Dê uma razão pela qual existem menos bactérias e partículas de poluição na água subterrânea do que na água proveniente de fontes da superfície, tais como lagos e rios.

Fonte: INEP ([20 --], p.45-46).

Resposta esperada:

“Respostas que se referem à água subterrânea sendo filtrada pelo solo:

- *Quando ela passa pela areia e terra, a água é limpa.*
- *Ela é filtrada naturalmente.*
- *Porque quando a água atravessa o solo ela é filtrada pelas pedras e pela areia.*

Respostas que se referem ao fato de que a água subterrânea é confinada e, portanto, protegida de possível poluição; OU que a água da superfície é mais facilmente poluída.

- *A água subterrânea está dentro da terra e, portanto, a poluição do ar não pode sujá-la.*
- *Porque a água subterrânea não está exposta ao ar livre, ela está localizada embaixo de alguma coisa.*
- *Os lagos e rios podem ser poluídos pelo ar e é possível nadar neles, e assim por diante. É por isso que a água não é limpa.*

Outras respostas corretas: A água subterrânea é uma água sem muito alimento para as bactérias, portanto elas não sobreviverão” (INEP, [20 --], p.45-46).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 26 – Análise da questão P16

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se a esse contexto já que apresenta a discussão sobre a importância de se ter uma fonte de água potável, o que resulta em qualidade de vida.

Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de analisar e avaliar os dados presentes na figura e refletir sobre a situação da água subterrânea e da água da superfície para tecer conclusões científicas apropriadas.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento das variáveis existentes nos dois ambientes, subterrâneos e superficiais, a fim de esclarecer o motivo da água subterrânea ser mais límpida que as águas superficiais, o que justifica sua potabilidade.

Na sequência, discorreremos as análises sobre a questão P17 da mesma temática:

<p>Figura 32 – Questão P17</p> <p>Em geral, o tratamento da água ocorre em várias etapas e envolve técnicas diferentes. O processo de tratamento mostrado na figura envolve quatro etapas (numeradas de 1 a 4). Na segunda etapa, a água é coletada em um tanque de decantação.</p> <p>De que maneira esta etapa torna a água mais limpa?</p> <p>A água torna-se menos ácida. As bactérias presentes na água morrem. O oxigênio é adicionado à água. Terra e areia ficam depositados no fundo. As substâncias tóxicas são decompostas.</p> <p>Fonte: INEP ([20 --], p.47).</p>
<p>Resposta esperada: “D. Terra e areia ficam depositados no fundo” (INEP, [20--], p.47).</p>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 27 – Análise da questão P17

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se ao tratamento da água, um recurso natural que implica em qualidade de vida.

Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico apropriado.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter conhecimento de que o tratamento da água ocorre em várias etapas e que na segunda etapa ocorre uma separação da mistura água+terra+areia por meio de um processo chamado decantação, ou seja, o aluno deve ter o conhecimento do conteúdo referente aos métodos de separação de misturas.

Na sequência, discorreremos as análises sobre a questão P18 da mesma temática:

<p>Figura 33 – Questão P18 Na quarta etapa do processo de limpeza, adiciona-se cloro à água. Por que se adiciona cloro à água? Fonte: INEP ([20 --], p. 47).</p>
<p>Resposta esperada: “Respostas que se referem à remoção, eliminação ou decomposição das bactérias: para que ela fique livre das bactérias; o cloro mata as bactérias” (INEP, [20 --], p. 47).</p>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 28 – Análise da questão P18

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se ao tratamento da água, um recurso natural que implica em qualidade de vida.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico apropriado.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento das

	etapas de tratamento da água, que é discutido desde o ensino fundamental, para justificar o motivo da utilização do cloro no combate às bactérias.
--	--

Na sequência, discorreremos as análises sobre a questão P19 da mesma temática:

<p>Figura 34 – Questão P19</p> <p>Suponha que, na estação de tratamento da água, os cientistas encarregados de testar a água descubram que existem algumas bactérias perigosas na água depois de concluído o processo de tratamento.</p> <p>O que as pessoas deveriam fazer em casa com esta água antes de bebê-la?</p> <p>Fonte: INEP ([20 --], p. 48).</p>
<p>Resposta esperada:</p> <p><i>“Respostas que se referem à fervura da água: fervê-la; aquecê-la e, então, as bactérias morrerão; fervê-la ou filtrá-la. Respostas que se referem a outros métodos de purificação que podem ser feitos em casa de maneira segura: tratar a água com pastilhas de cloro (por exemplo, Genco); usar um filtro microporoso”</i> (INEP, [20 --], p. 48).</p>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 29 – Análise da questão P19

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se ao tratamento da água, um recurso natural que implica em qualidade de vida.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de analisar e avaliar a situação apresentada, para posteriormente chegar a uma conclusão sobre o procedimento a ser utilizado pelas pessoas.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar a situação em relação aos procedimentos que são utilizados para o tratamento da água para posteriormente chegar à conclusão de qual método que temos acesso em

	casa é eficiente para o tratamento da água, caso essa ainda não esteja potável.
--	---

As questões apresentadas com a temática “Água potável”, demandam do aluno uma baixa exigência cognitiva, já que se refere às etapas do tratamento da água, um assunto tão difundido no ensino de Ciências desde as séries iniciais e que, por vezes, exige o conhecimento apenas do conteúdo ou dos procedimentos padrão utilizados para solucioná-lo.

As questões que seguem trazem como tema “Brilho Labial” e correspondem ao período de 2000 a 2006. O texto e o quadro a seguir foram fornecidos para fundamentar as questões P25 a P27, contudo discutimos aqui as questões P26 e P27, já que a questão excluída não se refere à temática dessa categoria.

Figura 35 – Texto e quadro fornecidos para as questões P25 a P27

O quadro abaixo contém duas receitas diferentes de cosméticos que você mesmo pode fazer.

O batom é mais firme do que o brilho labial, que é macio e cremoso.

Brilho labial	Batom
<p>Ingredientes: 5 g de óleo de rícino 0,2 g de cera de abelha 0,2 g de cera de carnaúba 1 colher de chá de corante 1 gota de essência alimentar</p> <p>Modo de fazer: Aqueça o óleo e as ceras em banho-maria até que a mistura fique homogênea. Em seguida, adicione o corante e a essência. Misture tudo.</p>	<p>Ingredientes: 5 g de óleo de rícino 1 g de cera de abelha 1 g de cera de carnaúba 1 colher de chá de corante 1 gota de essência alimentar</p> <p>Modo de fazer: Aqueça o óleo e as ceras em banho-maria até que a mistura fique homogênea. Em seguida, adicione o corante e a essência. Misture tudo.</p>

Fonte: INEP ([20 --], p. 80).

Na continuidade, temos a questão P26:

Figura 36 – Questão P26

Óleos e ceras são materiais que se misturam facilmente. A água não se mistura ao óleo e as ceras não são solúveis em água.

Se uma grande quantidade de água caísse dentro da mistura para batom, enquanto essa mistura estiver sendo aquecida, o que provavelmente aconteceria?

- A Seria obtida uma mistura mais cremosa e macia.
- B A mistura ficaria mais firme.
- C A mistura pouco mudaria.
- D Pedacos da mistura ficariam boiando na água.

Fonte: INEP ([20 --], p. 81).

Resposta esperada:

“D. Pedacos da mistura ficariam boiando na água” (INEP, [20 --], p. 81).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 30 – Análise da questão P26

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Fronteira da ciência e da tecnologia.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de um material de uso pessoal.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de oferecer hipóteses explicativas, justificando previsões desse experimento científico quanto ao produto resultante da mistura.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá analisar as informações contidas na receita do batom em relação à proporção de ceras e confrontá-las com os dados contidos no enunciado do exercício sobre a solubilidade de óleos e ceras em água. Com isso, oferecer hipóteses explicativas quando uma proporção elevada de água entrar em contato com a mistura, chegando às conclusões do experimento.

Vamos, na sequência, apresentar a questão P27 e a discussão da mesma:

Figura 37 – Questão P27

A adição de substâncias chamadas emulsificantes permite que óleos e ceras misturem-se bem com a água.

Por que o sabão e a água removem o batom?

- A água contém um emulsificante que permite que o sabão e o batom se misturem.
- O sabão age como um emulsificante e permite que a água e o batom se misturem.
- Os emulsificantes do batom permitem que o sabão e a água se misturem.
- O sabão e o batom combinam-se para formar um emulsificante que se mistura com a água.

Fonte: INEP ([20 --], p.81).

Resposta esperada:

“B. O sabão age como um emulsificante e permite que a água e o batom se misturem” (INEP, [20 --], p. 81).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 31 – Análise da questão P27

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Fronteira da ciência e da tecnologia.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de um material de uso pessoal.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deverá ter a competência de oferecer uma hipótese explicativa para a função do sabão, que juntamente com a água, removem o batom.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter em mente o conceito de solubilidade e a sua relação com a polaridade da molécula para que consiga interpretar o problema posto (sabão/água/batom) que faz referência aos emulsificantes, e encontrar uma solução para a pergunta.

Nessa temática do “Brilho labial”, podemos perceber que a água é apenas citada por suas propriedades ao interagir com a cera do batom e com o sabão, sendo necessário apenas que o aluno explique o conteúdo para solucioná-

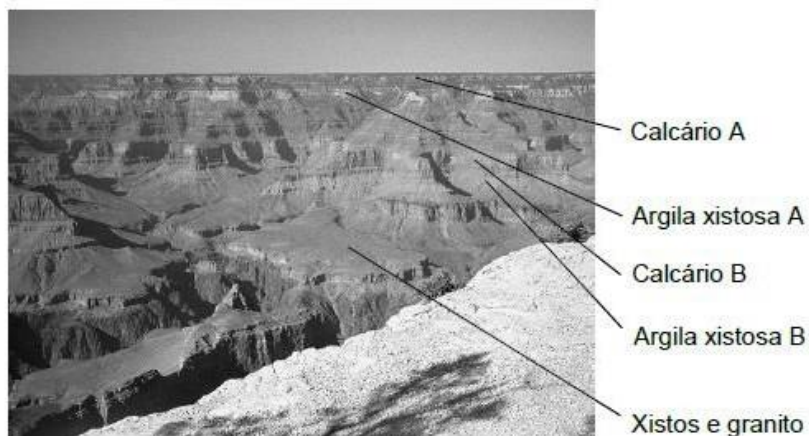
la. Além disso os itens não permitem discussões e grandes reflexões ao apresentar alternativas restritas para assinalar. Contudo, sabemos que essa avaliação possui itens de baixa, média e alta complexidade, e por isso podemos inferir que essas questões se referem aos itens de baixa complexidade e exigência cognitiva.

Vamos apresentar, na sequência, o texto e a foto fornecida para solucionar os itens P40 e P41 do *Grand Canyon* abordados na prova PISA, em 2006. Entretanto, é condizente com a presente temática apenas a questão P41, que será discutida posteriormente ao texto.

Figura 38 – Texto e foto fornecidos para as questões P40 a P41

O Grand Canyon está localizado em um deserto nos Estados Unidos. Ele é um cânion grande e profundo formado por muitas camadas de rochas. No passado, os movimentos na crosta terrestre ergueram estas camadas. Atualmente, o Grand Canyon apresenta 1,6 km de profundidade em determinadas partes. O Rio Colorado percorre todo o fundo do cânion.

Veja a foto abaixo do Grand Canyon tirada da margem sul. Várias camadas diferentes de rochas podem ser vistas nas paredes do cânion.



Fonte: INEP ([20 --], p. 121).

Na continuidade, temos a questão P41:

Figura 39 – Questão P41

A temperatura no Grand Canyon varia de menos de 0 °C a mais de 40 °C. Embora ele esteja localizado em uma área desértica, as fendas das rochas, algumas vezes, contêm água. De que maneira essas mudanças de temperatura e a água contida nas fendas das rochas ajudam a acelerar a decomposição das rochas?

- A A água congelada dissolve as rochas quentes.
- B A água consolida as rochas entre si.
- C O gelo torna lisa a superfície das rochas.
- D A água congelada se expande nas fendas das rochas.

Fonte: INEP ([20 --], p. 122).

Resposta esperada:

“D. A água congelada se expande nas fendas das rochas” (INEP, [20 --], p. 123).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 32 – Análise da questão P41

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – Riscos.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar de mudanças lentas e progressivas que acontecem no <i>Grand Canyon</i> e aceleram a decomposição das rochas.
Competência: <i>avaliar e planejar experimentos científicos.</i>	O aluno deverá ter a competência de identificar a questão apresentada nesse estudo científico e propor formas de explorar essa situação cientificamente, fazendo generalizações sobre a situação abordada.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá compreender o comportamento da água e sua anomalia quando a temperatura varia entre 0 a 4°C, para justificar porque isso decompõe as rochas, ou seja, compreender o raciocínio e a justificativa para o seu uso.

As questões de número P56 a P59 apresentam a temática *Usina Elétrica* e pertencem à prova PISA de 2015, mas apenas as questões P56 e P57

serão discutidas aqui por se referirem à temática. Relembrando que como todos os itens disponíveis dessa prova (2015) já trazem na sequência as dimensões discriminadas, só iremos apresentá-las aqui para discutirmos posteriormente.


Figura 40 – Texto e modelo fornecidos para as questões P56 a P59

Usina Elétrica Azul Introdução

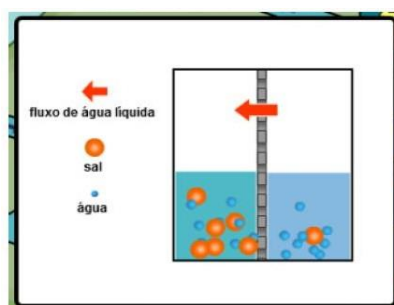
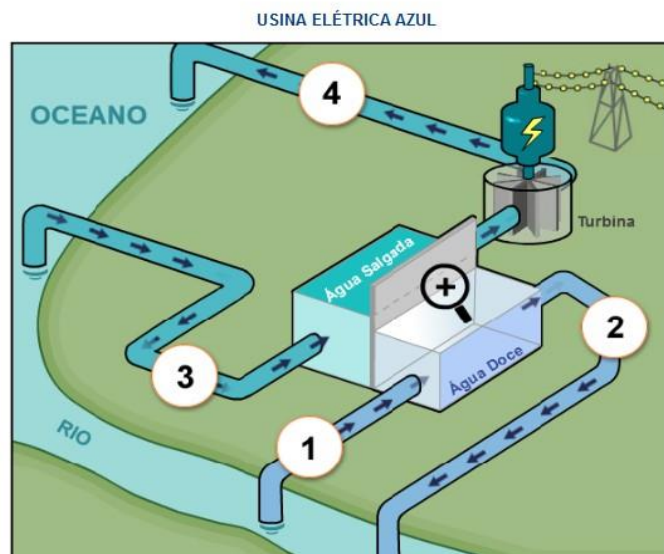
Leia a introdução. Então clique na seta PRÓXIMO.

Esta animação mostra um novo tipo de usina elétrica que está localizada onde um rio de água doce e a água do mar se encontram. A usina elétrica usa as diferenças nas concentrações de sal nos dois corpos de água para produzir eletricidade. Na usina elétrica, a água doce do rio é bombeada através de um tubo até um recipiente. A água salgada do mar é bombeada para outro recipiente. Os dois recipientes estão separados por uma membrana que permite que apenas as moléculas de água passem por ele.

As moléculas de água naturalmente movem-se através da membrana do recipiente de baixa concentração de sal para o recipiente de alta concentração de sal. Isto aumenta o volume e a pressão da água no recipiente de água salgada.

Clique na lente de aumento  para observar esse movimento das moléculas de água.

A água de alta pressão no recipiente de água salgada passa através do tubo, movendo a turbina para gerar eletricidade.



Fonte: INEP (2015a, p. 21).

Vamos, na sequência, apresentar a questão P56 e a discussão da mesma:

Figura 41 – Questão P56

Usina Elétrica Azul
Questão 1 / 4

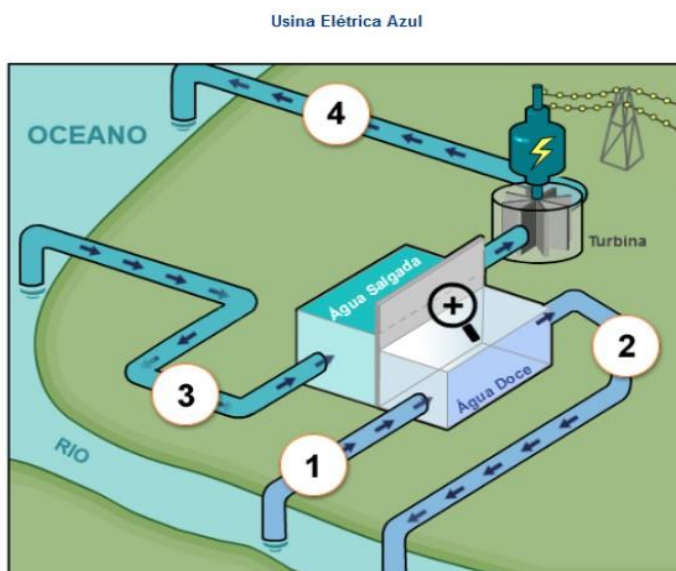
Consulte "Usina Elétrica Azul" à direita. Clique em uma ou mais caixas para responder à questão.

Quatro locais na usina elétrica foram numerados. A água é bombeada do rio para o local 1, marcado na tela.

✓ Lembre-se de selecionar **uma ou mais** caixas.

Em quais locais as moléculas de água que vêm do rio poderão ser encontradas na sequência do processo?

- Local 2
 Local 3
 Local 4



Fonte: INEP (2015a, p. 22)

Resposta esperada:

“Os estudantes devem aplicar seu entendimento de como a água se move através da usina elétrica apresentada no diagrama para identificar os locais 2 e 4 como portadores de moléculas de água que vêm do rio” (INEP, 2015a, p. 22).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico (Figura 4, 5 ou 6), temos que:

- Contexto: *Local/nacional – Fronteira entre Ciência e tecnologia* (INEP, 2015a, p. 22).
- Competência: *Interpretar dados e evidências cientificamente* (INEP, 2015a, p. 22).
- Conhecimento: *conteúdo – Sistemas físicos* (INEP, 2015a, p. 22).

Nessa questão o aluno deve ser capaz de transformar os dados de uma representação para a outra ao realizar a interpretação da imagem, determinando o local no qual as moléculas de água do rio poderão ser encontradas.

Vamos, na sequência, apresentar a questão P57 e a discussão da

mesma:

Figura 42 – Questão P57

Usina Elétrica Azul
Questão 2 / 4

Clique na lente de aumento para ver o que acontece com as moléculas de água e o sal dissolvido nos recipientes. Selecione suas respostas nos menus suspensos para completar a sentença.

A água do rio tem baixa concentração de sal. À medida que as moléculas se movem através da membrana, a concentração de sal no recipiente de água doce e a concentração de sal no recipiente de água salgada .

Fonte: INEP (2015a, p. 23).

Resposta esperada:

Os estudantes são convidados a usar a animação para determinar o efeito do movimento da água através da membrana sobre a concentração de sal no recipiente de água doce e no de água salgada. A resposta correta é: à medida que as moléculas se movem através da membrana, a concentração de sal no recipiente de água doce aumenta e a concentração de sal no recipiente de água salgada diminui (INEP, 2015a, p. 23).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico (Figura 4, 5 ou 6), temos que:

- Contexto: *Global – Fronteiras da ciência e tecnologia* (INEP, 2015a, p.23).
- Competência: *Interpretar dados e evidências cientificamente* (INEP, 2015a, p.23).
- Conhecimento: *Procedimental* (INEP, 2015a, p.23).

Podemos perceber que ambas as questões exigem dos alunos

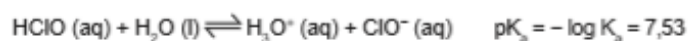
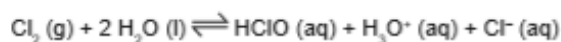
interpretar os dados e evidências cientificamente, já que trazem uma representação do processo de geração de energia elétrica por osmose e os alunos devem transformar os dados dela a fim de compreender como acontece o procedimento.

Na sequência, vamos analisar as questões do ENEM que fazem referência a essa temática. As questões E23, E29 e E30 fazem parte da mesma prova de 2013.

Figura 43 – Questão E23

QUESTÃO 64

Uma das etapas do tratamento da água é a desinfecção, sendo a cloração o método mais empregado. Esse método consiste na dissolução do gás cloro numa solução sob pressão e sua aplicação na água a ser desinfetada. As equações das reações químicas envolvidas são:



A ação desinfetante é controlada pelo ácido hipocloroso, que possui um potencial de desinfecção cerca de 80 vezes superior ao ânion hipoclorito. O pH do meio é importante, porque influencia na extensão com que o ácido hipocloroso se ioniza.

Para que a desinfecção seja mais efetiva, o pH da água a ser tratada deve estar mais próximo de

- A 0.
- B 5.
- C 7.
- D 9.
- E 14.

Fonte: ENEM (2013, p. 21).

Resposta esperada: alternativa B – 5

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:


Quadro 33 – Análise da questão E23

Critério	Análise
----------	---------

Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se ao tratamento da água, um recurso natural que implica em qualidade de vida.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ser capaz de lembrar e aplicar o conhecimento científico apropriado para solucionar esse problema.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deve ter o conhecimento do conteúdo de pH e deslocamento de equilíbrio para solucioná-la.

Na continuidade, temos a questão E29:

Figura 44 – Questão E29

QUESTÃO 81 

Entre as substâncias usadas para o tratamento de água está o sulfato de alumínio que, em meio alcalino, forma partículas em suspensão na água, às quais as impurezas presentes no meio se aderem.

O método de separação comumente usado para retirar o sulfato de alumínio com as impurezas aderidas é a

A flotação.
 B levigação.
 C ventilação.
 D peneiração.
 E centrifugação.

Fonte: ENEM (2013, p. 27).

Resposta esperada:
alternativa A – flotação

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 34 – Análise da questão E29

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se ao tratamento da água, um recurso natural que implica em

	qualidade de vida.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar a etapa do método de separação que faz uso do sulfato de alumínio para solucioná-lo.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento das etapas de tratamento da água e em qual etapa e com qual finalidade é utilizado o sulfato de alumínio, ou seja, o aluno deve ter o conhecimento do conteúdo referente aos métodos de separação de misturas.

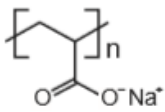
Em um estudo, Broietti e Passos (2017) realizaram análises de questões do ENEM e de um vestibular de uma universidade estadual do Paraná quanto às características e concepções de ensino e de aprendizagem, e trouxeram a análise dessa questão definindo-a como reprodutiva, ou seja, para solucioná-la é necessário que o aluno recorde os conceitos aprendidos, nesse caso, o conceito de flotação.

Na continuidade, temos a questão E30:

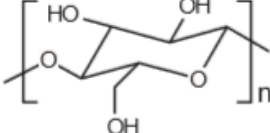
Figura 45 – Questão E30

QUESTÃO 86

As fraldas descartáveis que contêm o polímero poliacrilato de sódio (1) são mais eficientes na retenção de água que as fraldas de pano convencionais, constituídas de fibras de celulose (2).



(1)



(2)

CURI, D. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 23, maio 2008 (adaptado).

A maior eficiência dessas fraldas descartáveis, em relação às de pano, deve-se às

- A interações dipolo-dipolo mais fortes entre o poliacrilato e a água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.
- B interações íon-íon mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.
- C ligações de hidrogênio mais fortes entre o poliacrilato e a água, em relação às interações íon-dipolo entre a celulose e as moléculas de água.
- D ligações de hidrogênio mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às interações dipolo induzido-dipolo induzido entre a celulose e as moléculas de água.
- E interações íon-dipolo mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.

Fonte: ENEM (2013, p. 29).

Resposta esperada:

alternativa E – interações íon-dipolo mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 35 – Análise da questão E30

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – fronteiras da ciência e da tecnologia.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar da utilização de novos materiais (fraldas descartáveis) em substituição a outros com menor eficiência (fraldas de pano).
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico sobre a interação entre o poliacrilato de sódio e as fibras de celulose, com as moléculas de água
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá analisar as moléculas apresentadas e as suas polaridades para determinar qual tipo de interação será feita com a molécula de água, justificando a eficiência das fraldas descartáveis.

A questão E33 apresentada na sequência, faz parte da prova do ENEM de 2014.

Figura 46 – Questão E33**QUESTÃO 51** 

Para impedir a contaminação microbiana do suprimento de água, deve-se eliminar as emissões de efluentes e, quando necessário, tratá-lo com desinfetante. O ácido hipocloroso (HClO), produzido pela reação entre cloro e água, é um dos compostos mais empregados como desinfetante. Contudo, ele não atua somente como oxidante, mas também como um ativo agente de cloração. A presença de matéria orgânica dissolvida no suprimento de água clorada pode levar à formação de clorofórmio (CHCl₃) e outras espécies orgânicas cloradas tóxicas.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. *Química ambiental*. São Paulo: Pearson, 2009 (adaptado).

Visando eliminar da água o clorofórmio e outras moléculas orgânicas, o tratamento adequado é a

- A** filtração, com o uso de filtros de carvão ativo.
- B** fluoretação, pela adição de fluoreto de sódio.
- C** coagulação, pela adição de sulfato de alumínio.
- D** correção do pH, pela adição de carbonato de sódio.
- E** floculação, em tanques de concreto com a água em movimento.

Fonte: ENEM (2014, p.17).

Resposta esperada:

alternativa A – filtração, com o uso de filtros de carvão ativo.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:


Quadro 36 – Análise da questão E33

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se ao tratamento da água, um recurso natural que implica em qualidade de vida.

Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico sobre método de separação de misturas, a fim de identificar o método eficiente nesse caso.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento dos métodos de separação de misturas.

Na sequência, vamos discutir a questão E96 que faz parte da prova do ENEM de 2017.

Figura 47 – Questão E96

QUESTÃO 120 

Alguns tipos de dessalinizadores usam o processo de osmose reversa para obtenção de água potável a partir da água salgada. Nesse método, utiliza-se um recipiente contendo dois compartimentos separados por uma membrana semipermeável: em um deles coloca-se água salgada e no outro recolhe-se a água potável. A aplicação de pressão mecânica no sistema faz a água fluir de um compartimento para o outro. O movimento das moléculas de água através da membrana é controlado pela pressão osmótica e pela pressão mecânica aplicada.

Para que ocorra esse processo é necessário que as resultantes das pressões osmótica e mecânica apresentem

- A** mesmo sentido e mesma intensidade.
- B** sentidos opostos e mesma intensidade.
- C** sentidos opostos e maior intensidade da pressão osmótica.
- D** mesmo sentido e maior intensidade da pressão osmótica.
- E** sentidos opostos e maior intensidade da pressão mecânica.

Fonte: ENEM (2017, p. 10).

Resposta esperada:
alternativa E – sentidos opostos e maior intensidade da pressão mecânica.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 37 – Análise da questão E96

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – fronteiras da ciência e da tecnologia</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de um processo utilizado para obtenção de água potável a partir da água salgada.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de oferecer hipóteses explicativas que justifiquem o que acontece com os fatores pressão osmótica e pressão mecânica para a obtenção da água potável.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter conhecimento do conteúdo osmose e osmose reversa para solucionar essa questão.

Na sequência vamos discutir a questão E147 que faz parte da prova de reaplicação do ENEM de 2019.

Figura 48 – Questão E147**Questão 109**

Em regiões desérticas, a obtenção de água potável não pode depender apenas da precipitação. Nesse sentido, portanto, sistemas para dessalinização da água do mar têm sido uma solução. Alguns desses sistemas consistem basicamente de duas câmaras (uma contendo água doce e outra contendo água salgada) separadas por uma membrana semipermeável. Aplicando-se pressão na câmara com água salgada, a água pura é forçada a passar através da membrana para a câmara contendo água doce.

O processo descrito para a purificação da água é denominado

- A** filtração.
- B** adsorção.
- C** destilação.
- D** troca iônica.
- E** osmose reversa.

Fonte: ENEM (2019b, p.9).

Resposta esperada:

alternativa E – osmose reversa.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 38 – Análise da questão E147

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – fronteiras da ciência e da tecnologia</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de um processo utilizado para obtenção de água potável a partir da água salgada.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar qual é o nome do processo descrito.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento do conteúdo de osmose reversa, para que ao ler o enunciado da questão, saiba identificar qual é o processo envolvido na purificação da água.

Após o estudo quanto às dimensões do Letramento Científico, vamos sintetizar as análises, estabelecendo conexões entre PISA e ENEM. Para dar início, realizamos um resumo organizado no quadro 11 apresentado na sequência, para que possamos ter uma visão de toda a temática.

Quadro 39 – Análises do tema Água

Questões	Contexto	Competência	Conhecimento
P16	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
P17	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
P18	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
P19	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
P26	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
P27	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
P41	Local/nacional	Avaliar e planejar experimentos	Epistêmico

		científicos	
P56	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Conteúdo
P57	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E23	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E29	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E30	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E33	Global	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E96	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E147	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo

Fonte: o próprio autor.

Em primeira análise podemos perceber que essa temática é composta por 15,25% das questões PISA selecionadas, e aproximadamente 3,06% das questões ENEM. Sabemos que nosso foco de pesquisa não é uma análise quantitativa das questões, mas trouxemos esses números, pois uma temática de extrema relevância como essa deveria ser retratada e ser utilizada como contexto em ao menos uma questão em todas as avaliações do nosso Exame Nacional, retratando sua fundamental importância em nossas vidas e o nosso papel quanto ao uso consciente desse recurso natural essencial. Isso deveria ser repensado, já que essa avaliação atinge em média 4,2 milhões de estudantes anualmente e, sem dúvida, é uma forma de conscientização com a abrangência de um grande público.

Podemos perceber que as duas últimas questões apresentadas sobre a temática água, pertencentes ao ENEM de 2017 e 2019, tratam do processo de purificação da água do mar utilizando uma técnica importante chamada osmose reversa. Novamente temos uma excelente contextualização, mas que não foi utilizada para finalidades além da exigência do conhecimento do conteúdo.

A questão P18 (figura 33) apresenta o mesmo contexto de tratamento da água utilizando o cloro presente na questão E23 (figura 43). Nesse caso, ambas as questões, ENEM e PISA, exigem do aluno a mesma competência e o mesmo conhecimento: que o aluno explique o fenômeno, cientificamente, com

base no conhecimento do conteúdo. Contudo, a questão do E23 apresenta uma exigência maior de conceitos específicos da disciplina de Química, enquanto a questão P18 solicita ao aluno uma explicação sobre a função do cloro no processo, que é um conhecimento básico da disciplina de Ciências no ensino fundamental. Nesse comparativo podemos perceber que o ENEM exige a memorização de conceitos específicos por parte de um especialista em Química, enquanto o PISA exige uma argumentação mais abrangente por parte de um cidadão que compreende o processo de tratamento da água que consome.

Sobre a memorização, Broietti e Passos (2017, p.135) destacam: “[...] as avaliações não podem se limitar a instrumentos que exigem apenas operações cognitivas simples como a memorização. Esse tipo de exigência é incompatível com os objetivos pretendidos no Ensino de Ciências”.

Quanto ao **contexto**, das nove questões PISA, uma apresenta um cenário global, seis local/nacional e, duas, um cenário pessoal. Já para o ENEM, das seis questões apresentadas, uma apresenta um contexto global e cinco local/nacional. Isso nos possibilita afirmar que a contextualização realizada nas questões do ENEM é apropriada, já que permite uma visão geral da temática água ao priorizar contextos globais, locais e nacionais. Além disso a maioria traz a discussão sobre o tratamento da água, com o intuito de torná-la própria para o consumo.

A pertinência dessa temática é ressaltada por Torralbo (2009, p.27) ao enfatizar que “as situações de ensino e aprendizagem baseadas na discussão do tema social e ambiental água podem facilitar o desenvolvimento de atitudes responsáveis indispensáveis a sociedade moderna”. Além disso, o mesmo autor ressalta que a contextualização da água pode ser um instrumento que permita ao aluno a tomada de decisão e a busca de soluções para a problemática desse recurso natural (TORRALBO, 2009).

Nascimento e Araújo (2017) realizaram uma pesquisa com as avaliações do ENEM de 2009-2015 com o intuito de identificar como a temática água é abordada no exame e que identidade de Educação Ambiental aparece nas questões. Eles concluíram que a área de Ciências da Natureza possui o maior número de questões sobre a temática e que a Educação Ambiental conservadora

é a identidade mais presente nas questões analisadas.

Quanto às **competências**, todas as questões do ENEM pertencentes a essa categoria exigem do aluno a explicação dos fenômenos utilizando o conhecimento científico apropriado, ou seja, basta que o aluno lembre e aplique o conhecimento científico. Quanto às questões PISA, quatro das nove questões exigem essa competência.

Algo que podemos ressaltar em comum nas avaliações é que ambas possuem questões sobre o tratamento da água para torná-la potável e sobre uma forma de obtenção da água potável a partir da água do mar, utilizando a osmose reversa. O que difere nessas questões é o **conhecimento** exigido do aluno na resolução desses problemas. Quanto ao PISA, cinco questões das nove pertencentes às provas PISA trazem como exigência apenas o conhecimento do conteúdo, e todas as questões do ENEM que compõem essa temática trazem essa exigência. Sendo assim, nenhuma questão do ENEM com a temática água trouxe uma exigência do conhecimento procedimental ou epistêmico para solucioná-la no período de 2012-2020.

Assim como na temática anterior (gás carbônico), construímos o quadro 12 que traz a relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM para a temática água:

Quadro 40 – Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática água

Competência	Conhecimento
<i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	Conteúdo

Fonte: o próprio autor.

Para essa temática, temos apenas a competência de *explicar fenômenos cientificamente*, sendo necessário, para isso, o conhecimento do conteúdo.

Quando relacionamos o **contexto** apresentado nas questões do ENEM e o **conhecimento** exigido nelas, percebemos que ocorre o reducionismo na perspectiva da contextualização, já que o intuito é ensinar os conceitos científicos utilizando a temática para exemplificá-los.

Ainda no comparativo ENEM *versus* PISA, podemos perceber que as questões E23 (figura 43), E29 (figura 44) e E33 (figura 46) apresentam o mesmo contexto sobre o tratamento da água e todas exigem do aluno o conhecimento do conteúdo para explicar os fenômenos cientificamente. Quanto às questões do PISA, as questões P16 (figura 31), P17 (figura 32), P18 (figura 33) e P19 (figura 34) também discutem o tratamento da água, mas metade delas exige do aluno o conhecimento procedimental para solucioná-la. Concluimos, assim, que nessa temática o ENEM ficou restrito à exigência do conhecimento do conteúdo.

Outro ponto relevante a ser destacado é que das seis questões do ENEM analisadas no período de 2012-2020 (onze provas), três dessas questões pertencem à mesma prova, a prova de 2013. Isso demonstra a importância que a referida avaliação deu a essa temática, nesse ano.

Em síntese, essa temática deverá ser repensada nos próximos exames nacionais devido ao baixo número de itens que a discute, se considerada a sua relevância. Além disso, as competências e os conhecimentos exigidos em suas questões devem ser ponderados, já que o domínio do conteúdo e a simples aplicação do conhecimento científico não é uma exigência suficiente para a resolução dos problemas e tomada de decisões que nós, cidadãos responsáveis e conscientes, temos que realizar, diariamente.

Dando prosseguimento, explicitamos a terceira temática: Fontes de Energia.

4.3 FONTES DE ENERGIA

Ao observarmos as demais questões que não pertenciam às temáticas anteriores, podemos notar que grande parte delas aborda diferentes fontes de energia: os combustíveis fósseis, energia eólica, energia solar, biocombustíveis, pilhas, entre outras. Dessa forma, optamos por estabelecer essa temática, composta por vinte e sete questões, dentre elas cinco pertencentes às provas PISA, e vinte e duas às provas do ENEM: P10, P12, P50, P58, P59, E9, E35, E36, E64, E67, E71, E74, E76, E90, E93, E97, E105, E106, E111, E112, E130, E131, E153, E158, E159, E176 e E181.

As questões P10 e P12 fazem parte da prova PISA de 2003 e têm como tema o *Milho*. Essa temática é composta por seis questões, mas apenas duas delas tratam de energia e, por essa razão, serão discutidas na sequência:

Figura 49 – Texto fornecido para as questões P9 à P15

Análise a seguinte reportagem extraída de um jornal.

HOLANDÊS UTILIZA MILHO COMO COMBUSTÍVEL

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.

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.

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.

Atualmente, Ferwerda está pesquisando a possibilidade de utilização de toda a planta do 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."

Fonte: INEP ([20 --], p. 38).

Na continuidade, temos a questão P10:

Figura 50 – Questão P10

Ferwerda compara o milho utilizado como combustível ao milho utilizado como alimento.

A primeira coluna da tabela abaixo contém uma lista de fenômenos que ocorrem quando o milho queima.

Estes fenômenos também são produzidos quando o milho funciona como um combustível no organismo de um animal?

Faça um círculo em “Sim” ou “Não” para cada uma das opções abaixo.

Quando o milho queima:	Isto também acontece quando o milho funciona como um combustível no organismo de um animal?
Há consumo de oxigênio.	Sim / Não
Há produção de gás carbônico.	Sim / Não
Há produção de energia.	Sim / Não

Fonte: INEP ([20 --], p. 40).

Resposta esperada:

“Sim, Sim, Sim” (INEP, [20 --], p. 40).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 41 – Análise da questão P10

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Recursos naturais; Global – Riscos</i>	Essa questão, por sua abrangência, pode ser categorizada em dois contextos: o primeiro por referir-se ao milho como fonte de <u>energia</u> ; e o segundo por citar as <u>mudanças climáticas</u> .
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de avaliar os dados sobre a queima do milho e refletir sobre eles em uma situação diferente: a do milho como combustível no organismo de um animal.
Conhecimento: <i>Conteúdo e Procedimental.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento de como são determinadas as calorias dos

	alimentos com a utilização de um calorímetro e saber que ao entrar em combustão, a quantidade de calor liberadas é a mesma fornecida ao ingerirmos um alimento e que resultam nos mesmos produtos: gás carbônico e água.
--	--

Dando prosseguimento, temos a questão P12:

Figura 51 - Questão P12

A reportagem afirma: "Atualmente, Ferwerda está pesquisando a possibilidade de utilização de toda a planta do milho como combustível, mas esta pesquisa ainda não está concluída".

Qual das questões a seguir pode ser respondida por meio de uma pesquisa científica?

Faça um círculo em "Sim" ou "Não" para cada uma das opções a seguir.

Questão	Pode ser respondida por meio de uma pesquisa científica?
Que substâncias são formadas quando se queima toda a planta do milho?	Sim / Não
Qual a quantidade de calor liberada pela queima de toda a planta do milho seca no fogão de Ferwerda?	Sim / Não

Fonte: INEP ([20 --], p. 42).

Resposta esperada:
 "Sim. Sim." (INEP, [20 --], p. 42).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 42 – Análise da questão P12

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Recursos naturais;</i> <i>Global – Riscos.</i>	Essa questão, por sua abrangência, pode ser categorizada em dois contextos: o primeiro por referir-se ao milho como fonte de <u>energia</u> ; e o segundo por citar as <u>mudanças</u>

	<u>climáticas.</u>
Competência: <i>Avaliar e planejar experimentos científicos.</i>	Nessa questão o aluno deve ter a competência para analisar questões possíveis de serem investigadas cientificamente
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento do que é uma pesquisa científica, da natureza da ciência, e de como é possível desenvolvê-la com base em observações específicas.

Essa questão representa uma das poucas analisadas, até aqui, que exige do aluno a competência de *avaliar e planejar experimentos científicos*. Nela o aluno deve identificar a questão explorada em um dado estudo científico e avaliar a possibilidade do desenvolvimento de uma investigação científica para solucioná-la.

Na continuidade, temos a questão P50 que pertence ao tema Chuva ácida da prova PISA de 2006.

Figura 52 – Texto e imagem fornecidos para as questões P46 à P50

Abaixo, temos uma foto das estátuas chamadas cariátides que foram construídas na Acrópole, em Atenas, há mais de 2 500 anos. As estátuas são feitas de mármore, um tipo de rocha composta de carbonato de cálcio.



Em 1980, as estátuas originais foram transferidas para dentro do museu da Acrópole e substituídas por réplicas. As estátuas originais estavam sendo corroídas pela chuva ácida.

Fonte: INEP ([20 --], p. 135).

Figura 53 – Questão P50

A combustão do carvão e dos derivados de petróleo para produzir a energia necessária à população e às indústrias teve um efeito inesperado: o aumento das chuvas ácidas.

Os dois problemas relacionados abaixo são provocados pela chuva ácida. Para cada um, sugira uma questão à qual os cientistas deveriam responder para ajudar a resolver o problema. As duas questões devem ser diferentes.

Problema provocado pela chuva ácida	Uma questão à qual os cientistas deveriam responder, para solucionar o problema
Muitas construções de pedra e metal estão deteriorando-se.	
As pessoas querem um grande fornecimento de energia elétrica, mas sem a poluição ligada à chuva ácida.	

Fonte: INEP ([20 --], p. 139).

Resposta esperada:

Muitas construções de pedra e metal estão se deteriorando: quando se queima combustível, podem-se retirar as substâncias que causam a chuva ácida? É possível fabricar um revestimento para os materiais de construção que os proteja dos ácidos?

As pessoas querem um grande fornecimento de energia elétrica, mas sem a poluição ligada à chuva ácida: É possível desenvolver métodos de produção de energia que não utilizem carvão ou gás? É possível filtrar as substâncias provenientes do carvão e do gás que causam a chuva ácida? (INEP, [20 --], p. 139).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 43 – Análise da questão P50

Critério	Análise
Contexto: <i>Global/Qualidade ambiental</i> (controle de poluição)	Refere-se a esse contexto por tratar de questões a serem avaliadas para o controle da poluição e, por consequência, a produção da chuva ácida.
Competência: <i>Avaliar e planejar experimentos científicos</i>	O aluno deve ter a competência de avaliar os problemas causados pela chuva ácida e identificar qual é a questão a ser explorada pelos cientistas para solucionar o problema.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ser capaz de analisar os problemas causados com o aumento da chuva ácida em decorrência da produção de energia, e procurar questões para que os cientistas respondam durante a investigação científica, de forma a solucionar esses problemas.

Na sequência, vamos apresentar o texto que foi fornecido para as questões P56 a P59. As questões P56 e P57 foram analisadas, anteriormente, na temática água. Para esse assunto, vamos explorar as questões P58 e P59 que fazem parte da prova de 2015 e têm como tema a *Usina elétrica*.

Figura 54 – Texto e modelo fornecidos para as questões P56 a P59


Usina Elétrica Azul

Introdução

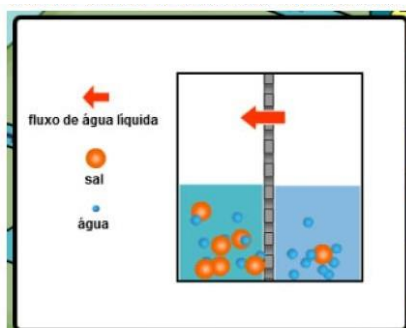
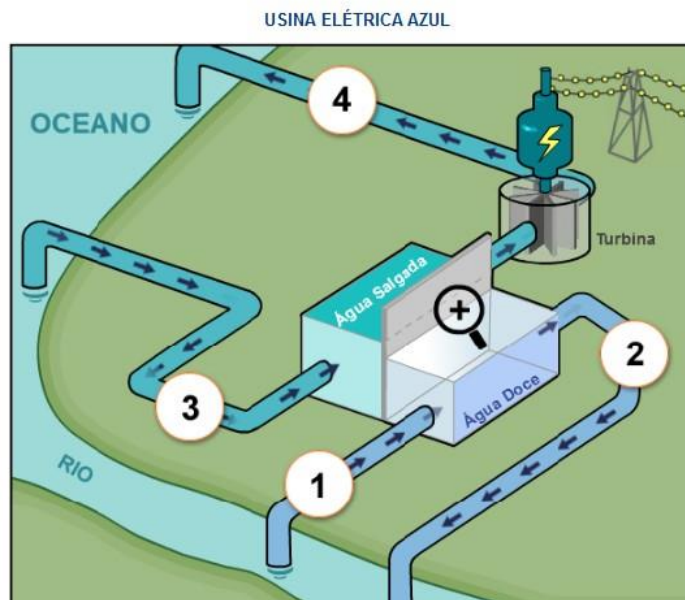
Leia a introdução. Então clique na seta PRÓXIMO.

Esta animação mostra um novo tipo de usina elétrica que está localizada onde um rio de água doce e a água do mar se encontram. A usina elétrica usa as diferenças nas concentrações de sal nos dois corpos de água para produzir eletricidade. Na usina elétrica, a água doce do rio é bombeada através de um tubo até um recipiente. A água salgada do mar é bombeada para outro recipiente. Os dois recipientes estão separados por uma membrana que permite que apenas as moléculas de água passem por ele.

As moléculas de água naturalmente movem-se através da membrana do recipiente de baixa concentração de sal para o recipiente de alta concentração de sal. Isto aumenta o volume e a pressão da água no recipiente de água salgada.

Clique na lente de aumento  para observar esse movimento das moléculas de água.

A água de alta pressão no recipiente de água salgada passa através do tubo, movendo a turbina para gerar eletricidade.



Fonte: INEP (2015a, p. 21).

Na continuidade, temos a questão P58:

Figura 55 – Questão P58

Usina Elétrica Azul

Questão 3 / 4

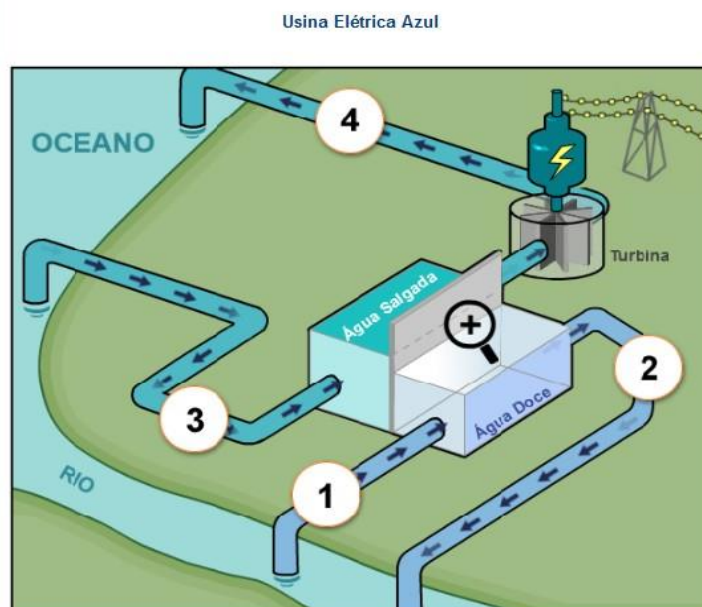
Consulte "Usina Elétrica Azul" à direita. Selecione suas respostas nos menus suspensos para responder à questão.

Várias conversões de energia ocorrem dentro de uma usina elétrica. Que tipo de conversão de energia ocorre na turbina e no gerador?

A turbina e o gerador convertem

energia cinética em

energia elétrica



Fonte: INEP (2015a, p. 24).

Resposta esperada:

Cada menu suspenso nesse item lista quatro tipos de energia: gravitacional, potencial, cinética e elétrica. Os estudantes devem interpretar corretamente o diagrama animado e especificar que a turbina e o gerador convertem energia cinética em energia elétrica (INEP, 2015a, p. 24).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico (Figura 4, 5 ou 6), temos que:

- Contexto: *Local/nacional – Fronteira entre Ciência e tecnologia* (INEP, 2015a, p. 24).
- Competência: *Interpretar dados e evidências cientificamente* (INEP, 2015a, p. 24).
- Conhecimento: *conteúdo – Sistemas físicos* (INEP, 2015a, p. 24).

Nessa questão o aluno deve transformar os dados representados na imagem, especificando o tipo de conversão de energia que acontece no gerador.

Figura 56 – Questão P59

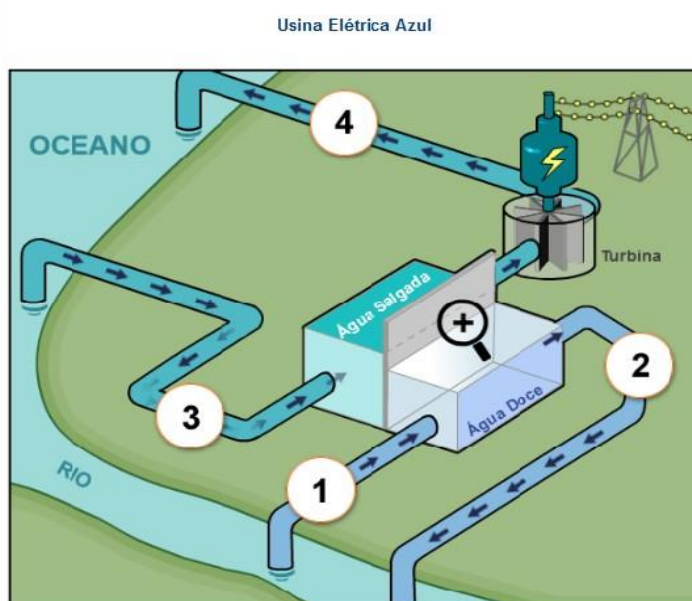
Usina Elétrica Azul

Questão 4 / 4

Consulte "Usina Elétrica Azul" à direita. Digite sua resposta à questão.

Muitas usinas de energia elétrica usam combustíveis fósseis, tais como petróleo e carvão, como fonte de energia.

Porque essa nova usina elétrica é considerada mais ecologicamente correta do que usinas elétricas que utilizam combustíveis fósseis?



Fonte: INEP (2015a, p. 25).

Resposta esperada:

Os estudantes devem fornecer uma explicação que identifique um caminho por meio do qual as usinas que queimam combustível fóssil são mais prejudiciais ao ambiente do que a nova usina elétrica ilustrada, ou identificar uma característica da nova usina que a torna mais amigável do ponto de vista ambiental (INEP, 2015a, p. 25).

Quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico (Figura 4, 5 ou 6), temos que:

- Contexto: *Global – Fronteira entre Ciência e tecnologia* (INEP, 2015a, p. 25).
- Competência: *Explicar fenômenos cientificamente* (INEP, 2015a, p. 25).
- Conhecimento: *conteúdo – sistemas físicos* (INEP, 2015a, p. 25).

Nessa questão os alunos devem ser capazes de explicar o motivo pelo qual essa usina é mais ecologicamente correta do que as que utilizam

combustíveis fósseis.

As questões P51 e P52 discutidas no tópico 3.1 Gás carbônico também se enquadram nessa temática, mas como se trata de análises idênticas quanto ao contexto, competência e conhecimento, não iremos apresentá-las, aqui, novamente.

Vamos, na sequência, discutir as questões do ENEM pertencentes a essa temática. A questão E9 corresponde ao caderno azul da prova do ENEM de 2012.

Figura 57 – Questão E9

QUESTÃO 71

Suponha que você seja um consultor e foi contratado para assessorar a implantação de uma matriz energética em um pequeno país com as seguintes características: região plana, chuvosa e com ventos constantes, dispondo de poucos recursos hídricos e sem reservatórios de combustíveis fósseis.

De acordo com as características desse país, a matriz energética de menor impacto e risco ambientais é a baseada na energia

- A dos biocombustíveis, pois tem menor impacto ambiental e maior disponibilidade.
- B solar, pelo seu baixo custo e pelas características do país favoráveis à sua implantação.
- C nuclear, por ter menor risco ambiental e ser adequada a locais com menor extensão territorial.
- D hidráulica, devido ao relevo, à extensão territorial do país e aos recursos naturais disponíveis.
- E eólica, pelas características do país e por não gerar gases do efeito estufa nem resíduos de operação.

Fonte: ENEM (2012, p.24)

Resposta esperada:

alternativa E – eólica, pelas características do país e por não gerar gases do efeito estufa nem resíduos de operação.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 44 – Análise da questão E9

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional - Recursos Naturais</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do fornecimento de energia.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deverá ter a competência de analisar e avaliar os dados fornecidos no enunciado do exercício, para ter a competência de chegar a uma conclusão sobre a matriz energética adequada.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá ser capaz de analisar as condições propostas e sugerir uma matriz energética adequada às características do país, e que apresente menor impacto e riscos ambientais

As questões E35 e E36 correspondem ao caderno azul da prova do ENEM de 2014.

Figura 58 – Questão E35**QUESTÃO 54**

O biodiesel não é classificado como uma substância pura, mas como uma mistura de ésteres derivados dos ácidos graxos presentes em sua matéria-prima. As propriedades do biodiesel variam com a composição do óleo vegetal ou gordura animal que lhe deu origem, por exemplo, o teor de ésteres saturados é responsável pela maior estabilidade do biodiesel frente à oxidação, o que resulta em aumento da vida útil do biocombustível. O quadro ilustra o teor médio de ácidos graxos de algumas fontes oleaginosas.

Fonte oleaginosa	Teor médio do ácido graxo (% em massa)					
	Mirístico (C14:0)	Palmitico (C16:0)	Estearico (C18:0)	Oleico (C18:1)	Linoleico (C18:2)	Linolênico (C18:3)
Milho	< 0,1	11,7	1,9	25,2	60,6	0,5
Palma	1,0	42,8	4,5	40,5	10,1	0,2
Canola	< 0,2	3,5	0,9	64,4	22,3	8,2
Algodão	0,7	20,1	2,6	19,2	55,2	0,6
Amendoim	< 0,6	11,4	2,4	48,3	32,0	0,9

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel Production: a review. *Bioresource Technology*, Londres, v. 70, n. 1, jan. 1999 (adaptado).

Qual das fontes oleaginosas apresentadas produziria um biodiesel de maior resistência à oxidação?

- A Milho.
- B Palma.
- C Canola.
- D Algodão.
- E Amendoim.

Fonte: ENEM (2014, p.18)

Resposta esperada:
alternativa B – palma.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 45 – Análise da questão E35

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/nacional – recursos naturais.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de uma fonte de energia renovável.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência analisar e avaliar os dados apresentados na tabela, e tirar conclusões apropriadas sobre o biodiesel com maior resistência a oxidação.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá fazer uso da ferramenta de representação dos dados (a tabela) e ter o domínio de alguns termos específicos para compreender o exercício. Por exemplo, para saber quais substâncias apresentam cadeias carbônicas saturadas, o aluno deve saber que estão representadas pelo número zero ao lado da quantidade de carbonos, para posteriormente analisar as colunas e identificar a palma como maior teor de ácidos graxos saturados e, por isso, mais resistente à oxidação.

Vamos, na sequência, apresentar a questão E36 e a discussão da mesma:

Figura 59 – Questão E36

QUESTÃO 56

Diesel é uma mistura de hidrocarbonetos que também apresenta enxofre em sua composição. Esse enxofre é um componente indesejável, pois o trióxido de enxofre gerado é um dos grandes causadores da chuva ácida. Nos anos 1980, não havia regulamentação e era utilizado óleo diesel com 13 000 ppm de enxofre. Em 2009, o diesel passou a ter 1 800 ppm de enxofre (S1800) e, em seguida, foi inserido no mercado o diesel S500 (500 ppm). Em 2012, foi difundido o diesel S50, com 50 ppm de enxofre em sua composição. Atualmente, é produzido um diesel com teores de enxofre ainda menores.

Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro. Disponível em: www.cnt.org.br.

Acesso em: 20 dez. 2012 (adaptado).

A substituição do diesel usado nos anos 1980 por aquele difundido em 2012 permitiu uma redução percentual de emissão de SO_3 de

- A 86,2%.
- B 96,2%.
- C 97,2%.
- D 99,6%.
- E 99,9%.

Fonte: ENEM (2014, p.19)

Resposta esperada:
alternativa D – 99,6%

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 46 – Análise da questão E36

Critério	Análise
Contexto: <i>Global</i> – <i>Qualidade ambiental</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do controle de poluição com a redução

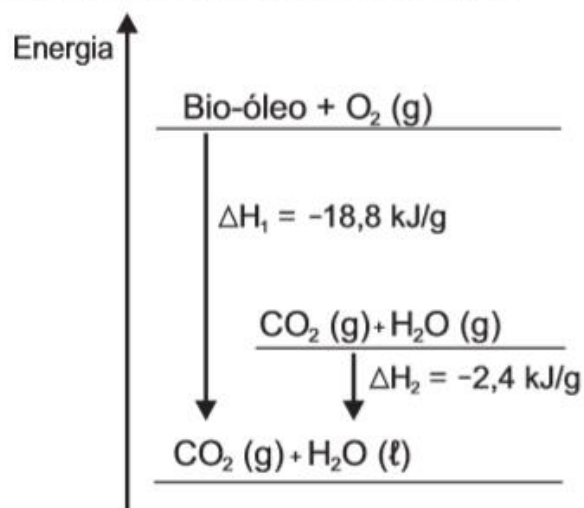
	da quantidade de enxofre emitido.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de analisar e interpretar o enunciado para chegar à conclusão sobre a quantidade de enxofre reduzida.
Conhecimento: <i>procedimental</i>	O aluno deverá ser capaz de refletir sobre os esforços científicos para a redução de enxofre e interpretar o enunciado, para posteriormente fazer um cálculo simples e determinar a porcentagem.

Na sequência, a questão E64 corresponde ao caderno azul da prova do ENEM de 2015.

Figura 60 – Questão E64

QUESTÃO 84

O aproveitamento de resíduos florestais vem se tornando cada dia mais atrativo, pois eles são uma fonte renovável de energia. A figura representa a queima de um bio-óleo extraído do resíduo de madeira, sendo ΔH_1 a variação de entalpia devido à queima de 1 g desse bio-óleo, resultando em gás carbônico e água líquida, e ΔH_2 a variação de entalpia envolvida na conversão de 1 g de água no estado gasoso para o estado líquido.



A variação de entalpia, em kJ, para a queima de 5 g desse bio-óleo resultando em CO_2 (gasoso) e H_2O (gasoso) é:

- A -106.
- B -94,0.
- C -82,0.
- D -21,2.
- E -16,4.

Fonte: ENEM (2015, p.29)

Resposta esperada:
alternativa C: -82,0

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 47 – Análise da questão E64

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – Recursos naturais</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de uma fonte renovável de energia, o bio-óleo extraído do resíduo da madeira.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de identificar no diagrama o valor da variação da entalpia e realizar o cálculo para determinar o valor resultante da queima de 5g de bio-óleo.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ser capaz de analisar o diagrama que trata do conteúdo de entalpia e fazer o cálculo para a proporção de 5g e, assim, determinar o valor da variação de entalpia.

Na sequência, vamos apresentar as questões E67, E71, E74 e E76 que correspondem ao caderno azul da prova do ENEM de 2016.

Figura 61 – Questão E67

QUESTÃO 48

A coleta das fezes dos animais domésticos em sacolas plásticas e o seu descarte em lixeiras convencionais podem criar condições de degradação que geram produtos prejudiciais ao meio ambiente (Figura 1).

Figura 1



A Figura 2 ilustra o Projeto Park Spark, desenvolvido em Cambridge, MA (EUA), em que as fezes dos animais domésticos são recolhidas em sacolas biodegradáveis e jogadas em um biodigestor instalado em parques públicos; e os produtos são utilizados em equipamentos no próprio parque.

Figura 2



Disponível em: <http://parksparkproject.com>. Acesso em: 30 ago. 2013 (adaptado).

Uma inovação desse projeto é possibilitar o(a)

- A** queima de gás metano.
- B** armazenamento de gás carbônico.
- C** decomposição aeróbica das fezes.
- D** uso mais eficiente de combustíveis fósseis.
- E** fixação de carbono em moléculas orgânicas.

Fonte: ENEM (2016, p.16)

Resposta esperada:

alternativa A – queima de gás metano.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 48 – Análise da questão E67

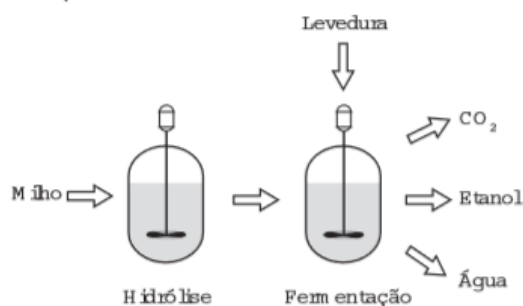
Critério	Análise
Contexto: <i>Local/nacional – recursos naturais</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de uma forma de suprimento de energia para o parque, utilizando um biodigestor.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de transformar os dados das imagens, analisando e interpretando-as para chegar a conclusões apropriadas sobre os o produto resultante da reação química que ocorre dentro do biodigestor com as fezes animais.
Conhecimento: <i>epistêmico.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar as imagens apresentadas e analisá-las, chegando à conclusão de qual é o produto gerado na reação química que ocorre dentro biodigestor, que então é convertido em energia e que justifica a importância desse projeto.

Na continuidade, temos a questão E71:

Figura 62 – Questão E71

QUESTÃO 53

O esquema representa, de maneira simplificada, o processo de produção de etanol utilizando milho como matéria-prima.



A etapa de hidrólise na produção de etanol a partir do milho é fundamental para que

- A** a glicose seja convertida em sacarose.
- B** as enzimas dessa planta sejam ativadas.
- C** a maceração favoreça a solubilização em água.
- D** o amido seja transformado em substratos utilizáveis pela levedura.
- E** os grãos com diferentes composições químicas sejam padronizados.

Fonte: ENEM (2016, p.19)

Resposta esperada:

alternativa D – o amido seja transformado em substratos utilizáveis pela levedura.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 49 – Análise da questão E71

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/nacional – recursos naturais.</i>	Relaciona-se a esse contexto por trazer a produção do etanol, uma fonte de energia, a partir do milho.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de oferecer uma hipótese explicativa para a importância da etapa de hidrólise na produção do etanol a partir do milho.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento das etapas necessárias para a produção do etanol (fonte de energia) e qual a finalidade da etapa conhecida por

hidrólise.

Essa questão traz um contexto interessante, contudo foi reduzida a uma etapa na qual era necessário um conhecimento específico para solucioná-la. Ao invés disso, o exame poderia solicitar ao aluno um apontamento sobre todo o processo, analisando o esquema apresentado, discorrer sobre os produtos formados e as implicações deles, por exemplo, relacionadas aos impactos ambientais da emissão do dióxido de carbono, em contraponto com a absorção dele pelo milho utilizado na produção do etanol, permitindo ao aluno um momento de reflexão sobre a utilização de fontes de energia renováveis.

Na continuidade, temos a questão E74:

Figura 63 – Questão E74

QUESTÃO 64

TEXTO I

Biocélulas combustíveis são uma alternativa tecnológica para substituição das baterias convencionais. Em uma biocélula microbiológica, bactérias catalisam reações de oxidação de substratos orgânicos. Liberam elétrons produzidos na respiração celular para um eletrodo, onde fluem por um circuito externo até o cátodo do sistema, produzindo corrente elétrica. Uma reação típica que ocorre em biocélulas microbiológicas utiliza o acetato como substrato.

AQUINO NETO, S. Preparação e caracterização de bioanodos para biocélula a combustível etanol/O₂. Disponível em: www.teses.usp.br. Acesso em: 23 jun. 2015 (adaptado).

TEXTO II

Em sistemas bioeletroquímicos, os potenciais padrão (E°) apresentam valores característicos. Para as biocélulas de acetato, considere as seguintes semirreações de redução e seus respectivos potenciais:



SCOTT, K.; YU, E. H. Microbial electrochemical and fuel cells: fundamentals and applications. *Woodhead Publishing Series in Energy*, n. 88, 2016 (adaptado).

Nessas condições, qual é o número mínimo de biocélulas de acetato, ligadas em série, necessárias para se obter uma diferença de potencial de 4,4 V?

- A 3
- B 4
- C 6
- D 9
- E 15

Fonte: ENEM (2016, p.23)

Resposta esperada:
alternativa B – 4

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 50 – Análise da questão E74

Critério	Análise
Contexto: <i>global – qualidade ambiental</i>	Refere-se a esse contexto por tratar de biocélulas para a geração de energia.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento sobre a eletroquímica.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ser capaz de analisar as reações e seus respectivos potenciais padrão de redução para determinar a diferença de potencial (ddp) dessa pilha e determinar quantas seriam necessárias para produzir 4,4 V.

Na continuidade, temos a questão E76:

Figura 64 – Questão E76

QUESTÃO 68

Para cada litro de etanol produzido em uma indústria de cana-de-açúcar são gerados cerca de 18 L de vinhaça que é utilizada na irrigação das plantações de cana-de-açúcar, já que contém teores médios de nutrientes N, P e K iguais a 357 mg/L, 60 mg/L e 2 034 mg/L, respectivamente.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, n. 1, 2007 (adaptado).

Na produção de 27 000 L de etanol, a quantidade total de fósforo, em kg, disponível na vinhaça será mais próxima de

A 1.
 B 29.
 C 60.
 D 170.
 E 1 000.

Fonte: ENEM (2016, p.24)

Resposta esperada:
alternativa B – 29 Kg.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 51 – Análise da questão E76

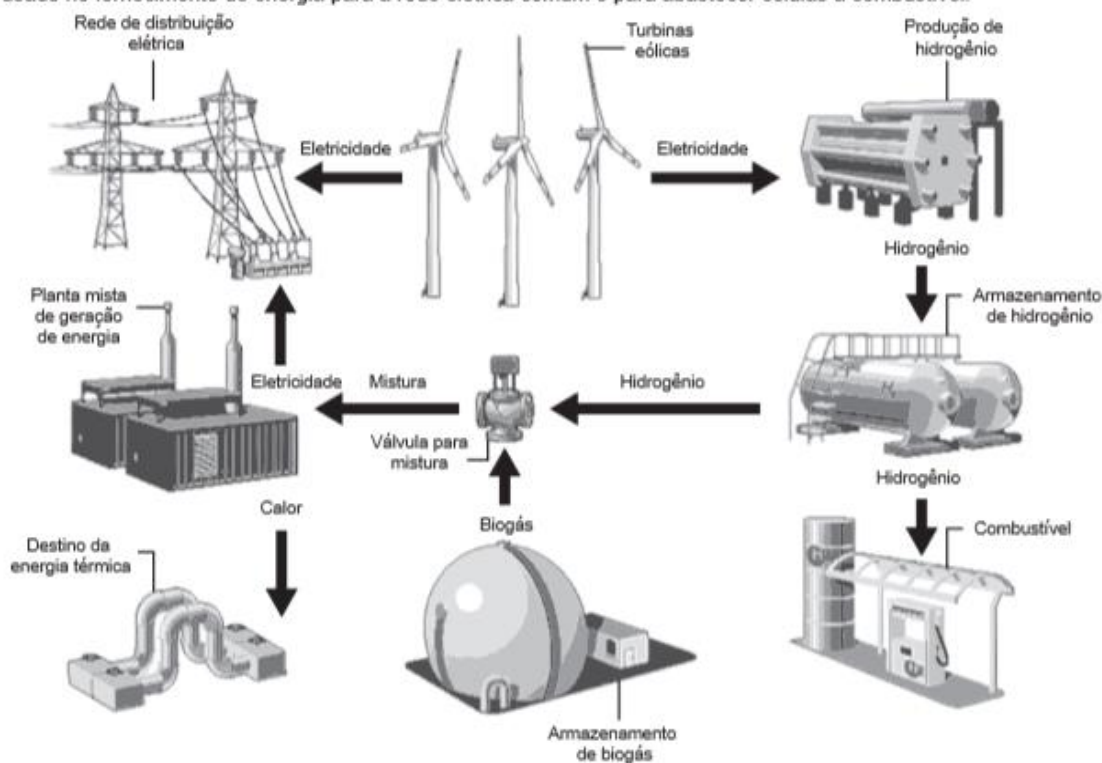
Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – Recursos naturais</i>	Relaciona-se a esse contexto por se referir ao processo de produção do etanol, no qual o produto secundário chamado de vinhaça, é utilizado para a produção de cana de açúcar.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de identificar no enunciado a quantidade total de fósforo presente na vinhaça para cada litro de etanol produzido e realizar o cálculo.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ser capaz de observar os dados fornecidos de fósforo presente na vinhaça produzida a partir do etanol e realizar um cálculo simples de proporção para determinar a massa de fósforo em Kg, a partir da produção de 27000L de etanol.

As questões E90, E93 e E97 correspondem ao caderno azul da prova do ENEM de 2017. Na continuidade, temos a questão E90:

Figura 65 – Questão E90

QUESTÃO 105

A figura mostra o funcionamento de uma estação híbrida de geração de eletricidade movida a energia eólica e biogás. Essa estação possibilita que a energia gerada no parque eólico seja armazenada na forma de gás hidrogênio, usado no fornecimento de energia para a rede elétrica comum e para abastecer células a combustível.



Disponível em: www.enerfrag.com. Acesso em: 24 abr. 2015 (adaptado).

Mesmo com ausência de ventos por curtos períodos, essa estação continua abastecendo a cidade onde está instalada, pois o(a)

- Ⓐ planta mista de geração de energia realiza eletrólise para enviar energia à rede de distribuição elétrica.
- Ⓑ hidrogênio produzido e armazenado é utilizado na combustão com o biogás para gerar calor e eletricidade.
- Ⓒ conjunto de turbinas continua girando com a mesma velocidade, por inércia, mantendo a eficiência anterior.
- Ⓓ combustão da mistura biogás-hidrogênio gera diretamente energia elétrica adicional para a manutenção da estação.
- Ⓔ planta mista de geração de energia é capaz de utilizar todo o calor fornecido na combustão para a geração de eletricidade.

Fonte: ENEM (2017, p. 6)

Resposta esperada:

alternativa B – hidrogênio produzido e armazenado é utilizado na combustão com o biogás para gerar calor e eletricidade.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 52 – Análise da questão E90

Critério	Análise
----------	---------

Contexto: <i>Local/Nacional – recursos naturais</i>	Relaciona-se a esse contexto por se tratar do suprimento de energia por meio do funcionamento de uma estação híbrida.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de transformar dados de uma representação para a outra, analisando a figura que mostra o funcionamento da estação híbrida de geração de eletricidade, interpretando-a e tirando conclusões apropriadas sobre a forma de produção de energia.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar a figura que trata do funcionamento de uma estação híbrida de eletricidade, justificando o seu funcionamento mesmo na ausência de ventos por meio da combustão do hidrogênio com o biogás para gerar calor e eletricidade.

Essa se trata de uma excelente questão por apresentar um contexto pertinente ao demonstrar a utilização de uma estação híbrida movida a energia eólica e biogás, confirmando que é possível produzir energia limpa e renovável sob condições variadas de clima. E ainda requer do aluno a interpretação da figura para chegar a uma conclusão adequada, exigindo para além do conhecimento memorístico, uma reflexão sobre o raciocínio envolvido nas imagens e uma justificativa para o funcionamento da estação de fornecimento de energia.

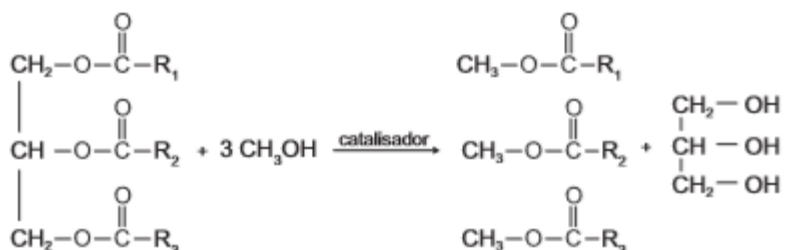
Por proporcionar esses momentos de reflexão que fazem o aluno compreender um processo e a justificativa para o seu uso, ressaltamos que questões como essas precisam estar presentes frequentemente nos exames e ser a maioria entre elas.

Na continuidade, temos a questão E93:

Figura 66 – Questão E93

QUESTÃO 114

O biodiesel é um biocombustível obtido a partir de fontes renováveis, que surgiu como alternativa ao uso do diesel de petróleo para motores de combustão interna. Ele pode ser obtido pela reação entre triglicerídeos, presentes em óleos vegetais e gorduras animais, entre outros, e álcoois de baixa massa molar, como o metanol ou etanol, na presença de um catalisador, de acordo com a equação química:



A função química presente no produto que representa o biodiesel é

- A** éter.
- B** éster.
- C** álcool.
- D** cetona.
- E** ácido carboxílico.

Fonte: ENEM (2017, p. 9)

Resposta esperada:
alternativa B - éster

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 53 – Análise da questão E93

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – recursos naturais</i>	Relaciona-se a esse contexto por se tratar do suprimento de energia a partir de um biocombustível.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento sobre as funções orgânicas.

Conhecimento: *Conteúdo.*

O aluno deverá ter o conhecimento das funções orgânicas, ao ser capaz de identificar a função éster presente na estrutura do biodiesel.

Na sequência, temos a questão E97:

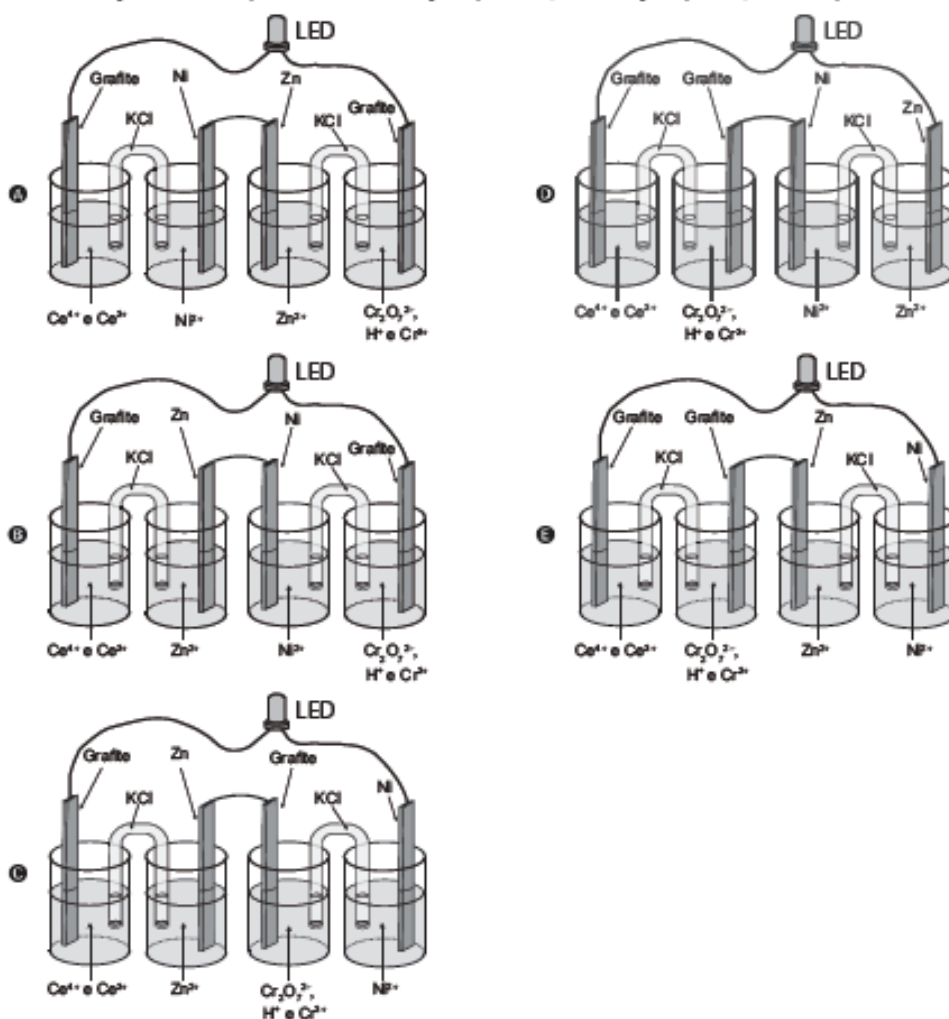
Figura 67 – Questão E97

QUESTÃO 121

A invenção do LED azul, que permite a geração de outras cores para compor a luz branca, permitiu a construção de lâmpadas energeticamente mais eficientes e mais duráveis do que as incandescentes e fluorescentes. Em um experimento de laboratório, pretende-se associar duas pilhas em série para acender um LED azul que requer 3,6 volts para o seu funcionamento. Considere as semirreações de redução e seus respectivos potenciais mostrados no quadro.

Semirreação de redução	E° (V)
$Ce^{4+} (aq) + e^{-} \rightarrow Ce^{3+} (aq)$	+1,61
$Cr_2O_7^{2-} (aq) + 14 H^{+} (aq) + 6 e^{-} \rightarrow 2 Cr^{3+} (aq) + 7 H_2O (l)$	+1,33
$Ni^{2+} (aq) + 2 e^{-} \rightarrow Ni (s)$	-0,25
$Zn^{2+} (aq) + 2 e^{-} \rightarrow Zn (s)$	-0,76

Qual associação em série de pilhas fornece diferença de potencial, nas condições-padrão, suficiente para acender o LED azul?



Fonte: ENEM (2017, p. 11)

Resposta esperada:
alternativa C

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 54 – Análise da questão E97

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – recursos naturais</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do suprimento de energia.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento de eletroquímica.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento do funcionamento das pilhas, especificamente o cálculo da diferença de potencial da pilha, e com isso determinar qual é o arranjo necessário para produzir a energia suficiente e acender a lâmpada de LED azul.

As questões E105, E106, E111 e E112, a serem discutidas na sequência, correspondem ao caderno azul da prova do ENEM de 2018.

Figura 68 – Questão E105

QUESTÃO 92

O carro flex é uma realidade no Brasil. Estes veículos estão equipados com motor que tem a capacidade de funcionar com mais de um tipo de combustível. No entanto, as pessoas que têm esse tipo de veículo, na hora do abastecimento, têm sempre a dúvida: álcool ou gasolina? Para avaliar o consumo desses combustíveis, realizou-se um percurso com um veículo flex, consumindo 40 litros de gasolina e no percurso de volta utilizou-se etanol. Foi considerado o mesmo consumo de energia tanto no percurso de ida quanto no de volta.

O quadro resume alguns dados aproximados sobre esses combustíveis.

Combustível	Densidade (g mL ⁻¹)	Calor de combustão (kcal g ⁻¹)
Etanol	0,8	-6
Gasolina	0,7	-10

O volume de etanol combustível, em litro, consumido no percurso de volta é mais próximo de

- A** 27.
- B** 32.
- C** 37.
- D** 58.
- E** 67.

Fonte: ENEM (2018, p.2)

Resposta esperada:
alternativa D – 58

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 55 – Análise da questão E105

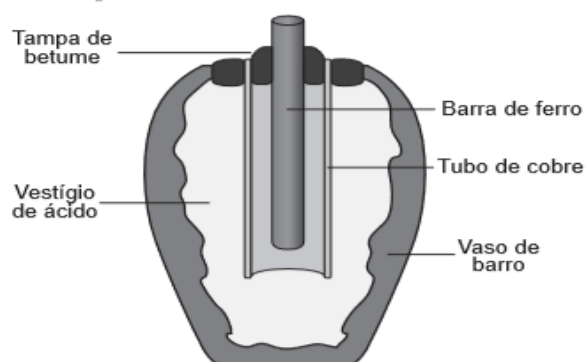
Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – recursos naturais</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do consumo individual de energia.
Competência: <i>explicar um fenômeno cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar os conhecimentos científicos apropriados.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá conhecer o cálculo da densidade para que com os dados fornecidos na tabela, consiga determinar: a massa da gasolina; a energia produzida pela gasolina; a massa do etanol necessária para produzir essa mesma energia; e, por fim, o volume correspondente a essa massa.

Na continuidade, temos a questão E106:

Figura 69 – Questão E106

QUESTÃO 93

Em 1938 o arqueólogo alemão Wilhelm König, diretor do Museu Nacional do Iraque, encontrou um objeto estranho na coleção da instituição, que poderia ter sido usado como uma pilha, similar às utilizadas em nossos dias. A suposta pilha, datada de cerca de 200 a.C., é constituída de um pequeno vaso de barro (argila) no qual foram instalados um tubo de cobre, uma barra de ferro (aparentemente corroída por ácido) e uma tampa de betume (asfalto), conforme ilustrado. Considere os potenciais-padrão de redução: $E^\ominus(\text{Fe}^{2+}|\text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$; $E^\ominus(\text{H}^+|\text{H}_2) = 0,00 \text{ V}$; e $E^\ominus(\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) = +0,34 \text{ V}$.



As pilhas de Bagdá e a acupuntura. Disponível em: <http://jornalgggn.com.br>. Acesso em: 14 dez. 2014 (adaptado).

Nessa suposta pilha, qual dos componentes atuaria como cátodo?

- A A tampa de betume.
- B O vestígio de ácido.
- C A barra de ferro.
- D O tubo de cobre.
- E O vaso de barro.

Fonte: ENEM (2018, p. 3)

Resposta esperada:

alternativa D – o tubo de cobre

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 56 – Análise da questão E106

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – recursos naturais</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do suprimento de energia.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento científico de pilhas para solucionar a questão.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter conhecimento do conteúdo de pilhas, para que ao observar os potenciais padrão de redução, consiga explicar qual é o

cátodo nessa suposta pilha.

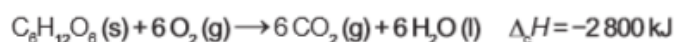
Algo interessante que difere essas questões das demais é a abordagem histórica que traz uma suposta pilha datada de aproximadamente 200 a.C. Isso permite ao aluno refletir sobre o seu funcionamento e realizar um comparativo com as pilhas atuais, ponderar sobre a importância da ciência e como o desenvolvimento científico e tecnológico acarreta mudanças significativas ao longo dos anos.

Na sequência, temos a questão E111:

Figura 70 – Questão E111

QUESTÃO 114

Por meio de reações químicas que envolvem carboidratos, lipídeos e proteínas, nossas células obtêm energia e produzem gás carbônico e água. A oxidação da glicose no organismo humano libera energia, conforme ilustra a equação química, sendo que aproximadamente 40% dela é disponibilizada para atividade muscular.



Considere as massas molares (em g mol^{-1}): H = 1; C = 12; O = 16.

LIMA, L. M.; FRAGA, C. A. M.; BARREIRO, E. J. Química na saúde. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2010 (adaptado).

Na oxidação de 1,0 grama de glicose, a energia obtida para atividade muscular, em quilojoule, é mais próxima de

- A 6,2.
- B 15,6.
- C 70,0.
- D 622,2.
- E 1 120,0.

Fonte: ENEM (2018, p. 8)

Resposta esperada:
alternativa A – 6,2

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 57 – Análise da questão E111

Critério	Análise
----------	---------

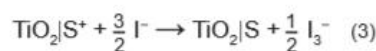
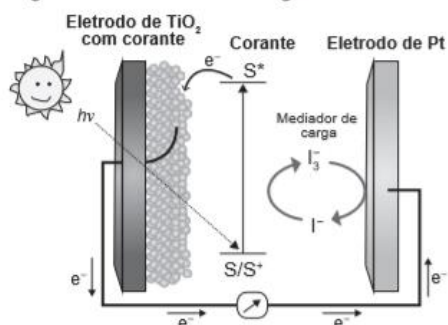
Contexto: <i>Pessoal – recursos naturais.</i>	Refere-se ao consumo de energia pelas nossas células para a atividade muscular.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de identificar a energia produzida na equação química presente no enunciado e utilizar o cálculo de proporção para solucioná-la.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá determinar a massa molar da glicose e ter o conhecimento do conteúdo de cálculo estequiométrico para utilizar a proporção e encontrar a energia obtida para atividade muscular.

Na continuidade, temos a questão E112:

Figura 71 – Questão E112

QUESTÃO 116

Células solares à base de TiO_2 sensibilizadas por corantes (S) são promissoras e poderão vir a substituir as células de silício. Nessas células, o corante adsorvido sobre o TiO_2 é responsável por absorver a energia luminosa ($h\nu$), e o corante excitado (S^*) é capaz de transferir elétrons para o TiO_2 . Um esquema dessa célula e os processos envolvidos estão ilustrados na figura. A conversão de energia solar em elétrica ocorre por meio da sequência de reações apresentadas.



LONGO, C.; DE PAOLI, M.-A. Dye-Sensitized Solar Cells: A Successful Combination of Materials. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, n. 6, 2003 (adaptado).

A reação 3 é fundamental para o contínuo funcionamento da célula solar, pois

- A reduz íons I^- a I_3^- .
- B regenera o corante.
- C garante que a reação 4 ocorra.
- D promove a oxidação do corante.
- E transfere elétrons para o eletrodo de TiO_2 .

Fonte: ENEM (2018, p. 9)

Resposta esperada:

alternativa B – regenera o corante.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 58 – Análise da questão E112

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – fronteiras da ciência e tecnologia.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de um novo processo de conversão de energia solar em elétrica.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de interpretar a imagem e analisar as reações químicas apresentadas, a fim de identificar a importância da reação química.
Conhecimento: <i>Procedimental</i>	O aluno deverá analisar as reações químicas que ocorrem na conversão de energia solar em elétrica, e perceber que o produto da reação 3 é o reagente da reação 1 e, por isso, deve se regenerar para que o processo continue acontecendo. Sendo assim, o aluno deve ter o conhecimento do procedimento utilizado pelos cientistas ao produzir essas células solares.

Na sequência, temos a questão E130 que faz parte da prova do ENEM de 2019.

Figura 72 – Questão E130**Questão 117**

Em uma aula experimental de calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura da tabela nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico da água é $1 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e sua temperatura inicial era de $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Quantidade por porção de 10 g (2 castanhas)	
Valor energético	70 kcal
Carboidratos	0,8 g
Proteínas	3,5 g
Gorduras totais	3,5 g

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento?

- A** 25
- B** 27
- C** 45
- D** 50
- E** 70

Fonte: ENEM (2019a, p. 10).

Resposta esperada:
alternativa C – 45.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 59 – Análise da questão E130

Critério	Análise
Contexto: <i>pessoal – recursos naturais.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do consumo individual de materiais e

	energia
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deverá ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento de termoquímica para solucionar essa questão.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter conhecimento do conteúdo de termoquímica para realizar o cálculo da temperatura final da água, utilizando a fórmula da quantidade de calor.

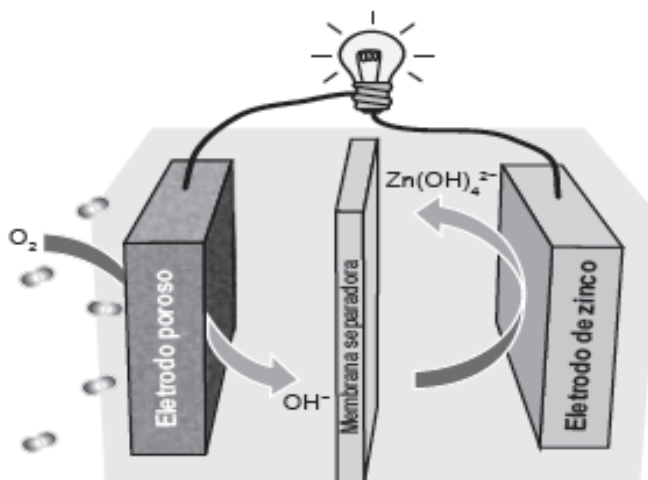
Nessa questão, o contexto de utilizar uma castanha de caju como fonte de energia para o aquecimento da água, não foi explorado. A tabela nutricional aparece ali somente para servir como fonte de dados para que o aluno consulte na realização do cálculo. Ao invés disso, essas informações poderiam ter sido utilizadas com o intuito de realizar uma contextualização da Química com a tabela nutricional presente nos alimentos, já que se trata de uma discussão simples e tão importante para a escolha do alimento a ser consumido durante uma dieta, por exemplo.

A questão E131, apresentada na sequência, corresponde ao caderno azul da prova do ENEM de 2019.

Figura 73 – Questão E131

Questão 118

Grupos de pesquisa em todo o mundo vêm buscando soluções inovadoras, visando a produção de dispositivos para a geração de energia elétrica. Dentre eles, pode-se destacar as baterias de zinco-ar, que combinam o oxigênio atmosférico e o metal zinco em um eletrólito aquoso de caráter alcalino. O esquema de funcionamento da bateria zinco-ar está apresentado na figura.



LI, Y.; DAI, H. Recent Advances in Zinc-Air Batteries. *Chemical Society Reviews*, v. 43, n. 15, 2014 (adaptado).

No funcionamento da bateria, a espécie química formada no ânodo é

- A H_2 (g).
- B O_2 (g).
- C H_2O (l).
- D OH^- (aq).
- E $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ (aq).

Fonte: ENEM (2019a, p. 10)

Resposta esperada:

alternativa E – $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ (aq).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 60 – Análise da questão E131

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – fronteiras da ciência e tecnologia.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de um novo material com solução

	inovadora na geração de energia elétrica
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de interpretar a imagem transformando os dados da representação, a fim de identificar os polos da bateria e, por consequência, a substância que funciona como ânodo.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá analisar o processo de funcionamento da bateria por meio da representação na figura e identificar qual é o ânodo e qual reação está ocorrendo, a fim de determinar o produto dela.

As questões E153, 158 e 159 apresentadas, na sequência, correspondem ao caderno azul da prova de reaplicação do ENEM de 2019.

Figura 74 – Questão E153

Questão 120

Em 2014, iniciou-se em São Paulo uma séria crise hídrica que também afetou o setor energético, agravada pelo aumento do uso de ar-condicionado e ventiladores. Com isso, intensifica-se a discussão sobre a matriz energética adotada nas diversas regiões do país. Sendo assim, há necessidade de se buscarem fontes alternativas de energia renovável que impliquem menores impactos ambientais.

Considerando essas informações, qual fonte poderia ser utilizada?

- A** Urânio enriquecido.
- B** Carvão mineral.
- C** Gás natural.
- D** Óleo diesel.
- E** Biomassa.

Fonte: ENEM (2019b, p. 12)

Resposta esperada:
alternativa E – Biomassa.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 61 – Análise da questão E153

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do suprimento de energia.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de interpretar o enunciado que traz a informação de um recurso energético renovável e com menores impactos ambientais, a fim de escolher qual fonte poderia ser utilizada.
Conhecimento: <i>procedimental.</i>	O aluno deverá analisar cada uma das fontes de energia fornecidas e procurar qual é a renovável e que causaria menor impacto ambiental.

Essa questão seria excelente se o exame permitisse questões abertas e por isso ela não apresentasse as alternativas, pois dessa forma o aluno conseguiria refletir sobre as possibilidades em relação às fontes alternativas de energia renovável e com menor impacto ambiental.

Trata-se de um contexto importante, pois permite ao aluno a reflexão sobre as fontes alternativas de energia, o que possibilita a formação do juízo de valor.

Figura 75 – Questão E158

Questão 129

O etanol é um combustível renovável obtido da cana-de-açúcar e é menos poluente do que os combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel. O etanol tem densidade $0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, massa molar $46 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ e calor de combustão aproximado de $-1\,300 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$. Com o grande aumento da frota de veículos, tem sido incentivada a produção de carros bicombustíveis econômicos, que são capazes de render até $20 \frac{\text{km}}{\text{L}}$ em rodovias, para diminuir a emissão de poluentes atmosféricos.

O valor correspondente à energia consumida para que o motorista de um carro econômico, movido a álcool, percorra 400 km na condição de máximo rendimento é mais próximo de

- A** 565 MJ.
- B** 452 MJ.
- C** 520 kJ.
- D** 390 kJ.
- E** 348 kJ.

Fonte: ENEM (2019b, p. 14)

Resposta esperada:

alternativa B – 452 MJ.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 62 – Análise da questão E158

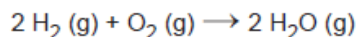
Critério	Análise
Contexto: <i>pessoal – recursos naturais.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do consumo individual de energia renovável.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de aplicar o conhecimento apropriado, ou seja, calcular a quantidade de energia com base nos dados fornecidos pelo enunciado.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ser capaz de realizar o cálculo da quantidade de energia consumida para que um motorista percorra 400Km utilizando o etanol como combustível.

Na continuidade, temos a questão E159:

Figura 76 – Questão E159

Questão 131

O gás hidrogênio é considerado um ótimo combustível — o único produto da combustão desse gás é o vapor de água, como mostrado na equação química.



Um cilindro contém 1 kg de hidrogênio e todo esse gás foi queimado. Nessa reação, são rompidas e formadas ligações químicas que envolvem as energias listadas no quadro.

Ligação química	Energia de ligação ($\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$)
H-H	437
H-O	463
O=O	494

Massas molares ($\frac{\text{g}}{\text{mol}}$): $\text{H}_2 = 2$; $\text{O}_2 = 32$; $\text{H}_2\text{O} = 18$.

Qual é a variação da entalpia, em quilojoule, da reação de combustão do hidrogênio contido no cilindro?

- A** -242 000
- B** -121 000
- C** -2 500
- D** +110 500
- E** +234 000

Fonte: ENEM (2019b, p. 14)

Resposta esperada:

alternativa B – -121 000

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 63 – Análise da questão E159

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do suprimento de energia, ou seja, o gás hidrogênio como fonte de energia ao sofrer combustão.

Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento referente ao cálculo da variação da entalpia.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento de como calcular a variação de entalpia para uma reação química utilizando os dados da energia de ligação, a fim de determinar quanto de energia um cilindro contendo 1Kg de gás hidrogênio libera.

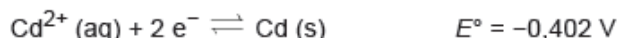
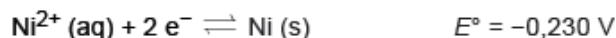
A questão E176 apresentada, na sequência, corresponde ao caderno azul da prova do ENEM digital de 2020.

Figura 77 – Questão E176

Questão 132 - Ciências da Natureza e suas Tecnologias

As pilhas recarregáveis, bastante utilizadas atualmente, são formadas por sistemas que atuam como uma célula galvânica, enquanto estão sendo descarregadas, e como célula eletrolítica, quando estão sendo recarregadas.

Uma pilha é formada pelos elementos níquel e cádmio e seu carregador deve fornecer uma diferença de potencial mínima para promover a recarga. Quanto maior a diferença de potencial gerada pelo carregador, maior será o seu custo. Considere os valores de potencial padrão de redução dessas espécies:



Teoricamente, para que um carregador seja ao mesmo tempo eficiente e tenha o menor preço, a diferença de potencial mínima, em volt, que ele deve superar é de

- (A) 0,086.
- (B) 0,172.
- (C) 0,316.
- (D) 0,632.
- (E) 1,264.

Fonte: ENEM (2020a, p. 47)

Resposta esperada:
alternativa B – 0,172.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 64 – Análise da questão E176

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – recursos naturais.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do suprimento de energia.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de identificar qual reação ocorre no cátodo e qual ocorre no ânodo para, posteriormente, lembrar e aplicar o conhecimento referente ao cálculo da diferença de potencial em volt.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento de como calcular a diferença de potencial de uma pilha.

A questão E181, apresentada na sequência, corresponde ao caderno azul da prova de aplicação regular do ENEM de 2020.

Figura 78 – Questão E181

Questão 97 

Grandes reservatórios de óleo leve de melhor qualidade e que produz petróleo mais fino foram descobertos no litoral brasileiro numa camada denominada pré-sal, formada há 150 milhões de anos.

A utilização desse recurso energético acarreta para o ambiente um desequilíbrio no ciclo do

- A** nitrogênio, devido à nitrificação ambiental transformando amônia em nitrito.
- B** nitrogênio, devido ao aumento dos compostos nitrogenados no ambiente terrestre.
- C** carbono, devido ao aumento dos carbonatos dissolvidos no ambiente marinho.
- D** carbono, devido à liberação das cadeias carbônicas aprisionadas abaixo dos sedimentos.
- E** fósforo, devido à liberação dos fosfatos acumulados no ambiente marinho.

Fonte: ENEM (2020b, p.4)
Resposta esperada: <i>alternativa D – carbono, devido à liberação das cadeias carbônicas aprisionadas abaixo dos sedimentos.</i>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 65 – Análise da questão E181

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do impacto ambiental causado pela extração do petróleo, um recurso energético.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de interpretar os dados apresentados no enunciado, tirando conclusões apropriadas sobre o impacto que esse processo de extração pode acarretar no meio ambiente.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ser capaz de compreender o raciocínio envolvido no processo de extração do petróleo, sua composição e, com base nisso, chegar à conclusão sobre qual ciclo sofrerá desequilíbrio.

Após o estudo quanto às dimensões do Letramento Científico, vamos sintetizar as análises, estabelecendo conexões entre PISA e ENEM. Para dar início, elaboramos um resumo organizado no quadro 13, apresentado na sequência, para que possamos ter uma visão de toda a temática.

Quadro 66 – Análises do tema Fontes de Energia

Questões	Contexto	Competência	Conhecimento
P10	Pessoal e Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Conteúdo e procedimental
P12	Pessoal e Global	Avaliar e planejar experimentos científicos	Epistêmico
P50	Global	Avaliar e planejar experimentos científicos	Procedimental

P58	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Conteúdo
P59	Global	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E9	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
E35	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E36	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E64	Global	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E67	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
E71	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E74	Global	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E76	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E90	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
E93	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E97	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E105	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E106	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E111	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E112	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E130	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E131	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E153	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E158	Pessoal	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E159	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E176	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo

E181	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
------	----------------	--	---------------

Fonte: o próprio autor.

Podemos perceber que das cinco questões analisadas nessa temática pertencentes à prova PISA, três delas apresentam **contextos globais** por se tratar de uma prova Internacional e que deve ser contextualizada o suficiente para ser acessível aos diferentes alunos com culturas divergentes que realizarão a prova, de forma que essa não seja excludente. Já as questões do ENEM, das vinte e duas questões analisadas, quinze apresentam um contexto Local/Nacional, três apresentam um contexto Global e quatro apresentam um contexto Pessoal. Talvez isso ocorra porque diferente da prova PISA, o ENEM é uma avaliação que acontece em nível nacional, o que nos permite concluir que as questões do ENEM são questões bem contextualizadas e, por isso, quanto ao contexto, são adequadas aos alunos brasileiros.

Ainda quanto ao contexto, grande parte das questões apresentam uma discussão sobre a geração de energia limpa e renovável e acerca do biodiesel. Nesse viés, é importante destacar que “o uso de biocombustíveis, em especial o biodiesel, não é somente uma alternativa economicamente vantajosa, mas também envolve aspectos sociais e ambientais” (NASCIMENTO *et. al*, 2016, p.2) e, por isso, deve ser enfatizado.

No que concerne às **competências** sobre a temática fontes de energia, as questões PISA exigem que o aluno avalie e interprete os dados e evidências apresentados nas questões. Isso nos permite concluir que as questões PISA não somente dessa categoria, mas todas as analisadas até o momento, exigem do aluno postura reflexiva sobre cada uma das questões e, por isso, é necessário muito mais do que o **conhecimento** do conteúdo; é imprescindível o conhecimento procedimental e epistêmico.

Acerca do ENEM, treze questões exigem do aluno que ele *explique um fenômeno cientificamente*, ou seja, basta que ele tenha o **conhecimento** do conteúdo para que seja capaz de solucionar as questões. Isso nos permite concluir que para que o aluno obtenha êxito nessa avaliação, o currículo que contribui para a sua formação deve priorizar o conteúdo por si só, ou seja, o aluno precisa ter uma

formação exclusivamente conteudista, sem que seja necessário a formação de um aluno crítico e reflexivo. Isso também nos permite refletir sobre os resultados do ENEM: quais são os alunos que obtêm as maiores notas nas provas? São os alunos oriundos de escola pública?

Em contraponto, essa temática é a que possui a maior quantidade de questões solicitando que o aluno *interprete os dados e evidências cientificamente*, ou seja, nove das vinte e duas questões que implicam em aproximadamente 40% da temática. Isso nos permite inferir que ao longo desses anos, das temáticas analisadas no presente estudo, essa é a que possui a maior exigência em relação à competência.

Na relação entre a competências e o conhecimento para a temática fontes de energia, construímos o quadro 14:

Quadro 67 – Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática fontes de energia

Competência	Conhecimento
<i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	Conteúdo
<i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	Procedimental e Epistêmico

Fonte: o próprio autor.

Para essa temática, enquanto a competência *explicar fenômenos cientificamente* requer o conhecimento do conteúdo, a competência *interpretar dados e evidências cientificamente* requer o conhecimento procedimental e epistêmico.

Na busca por estabelecer um comparativo entre as questões, podemos perceber que no PISA as questões P10 e P12 (figura 50 e 51) tratam do milho como fonte de energia, e no ENEM a questão E71 (figura 62) discorre sobre isso. Para as questões do PISA, há uma reportagem com uma discussão sobre a utilização do milho como fonte de combustível, assim como alimento para gado, exigindo do aluno que ele interprete e avalie experimentos científicos, uma competência pouco exigida nas questões, mas que permite ao aluno uma reflexão sobre as investigações científicas, sobre sua natureza e como desenvolvê-la. Já no ENEM, o milho é utilizado em um esquema para a produção do etanol, exigindo do

aluno o conhecimento de um conteúdo específico. Ao estabelecer esse comparativo, ficam evidentes as possibilidades de discussão de um assunto tão importante quanto esse e a reflexão sobre qual deve ser a prioridade do exame como processo avaliativo.

Além da questão E71, as questões E76 (figura 64), E105 (figura 68) e E158 (figura 75) também discutem o etanol como fonte de energia. Na questão E76 temos a exigência de que o aluno observe os dados fornecidos em relação à quantidade de fósforo resultante na vinhaça, produto secundário no processo de produção do etanol, e realize o cálculo da quantidade de fósforo em Kg na produção de uma grande quantidade de etanol, ou seja, exige do aluno o conhecimento do conteúdo. A questão E105 traz um comparativo do etanol com a gasolina em relação ao consumo desses combustíveis, exigindo do aluno, da mesma forma que na questão anterior, o conhecimento do conteúdo para a realização do cálculo do volume de etanol consumido. E na questão E158 não é diferente, o aluno deve realizar o cálculo da energia consumida para que um carro movido a etanol percorra determinada distância.

Com isso, podemos ressaltar a falha na discussão desse assunto no ENEM, já que um país pioneiro e um dos maiores produtores do etanol como o Brasil, possui uma variedade de apontamentos sobre a sua importância como fonte de energia renovável, também sobre o processo de produção desse combustível e sobre a relação da emissão de dióxido resultante de sua queima e o absorvido pela planta que dará origem a ele. Uma forma de trazer esses apontamentos para a avaliação seria utilizando a abordagem CTS de ensino.

Um estudo realizado com as avaliações do ENEM no período de 1998-2007, os autores selecionaram as questões que faziam referência à energia ou recursos energéticos com o intuito de identificar uma adesão do ENEM a uma abordagem do ensino de Ciência numa perspectiva CTS. Eles perceberam que essa abordagem variou ao longo do período, com diferentes níveis de comprometimento ou adesão (PIERSON *et. al*, 2013).

Em outro estudo realizado com as questões do ENEM de Ciências da Natureza com o intuito de identificar a abordagem CTS, o autor concluiu que há uma relação entre as perspectivas CTS de educação e a matriz de referência do

ENEM, contudo entre a proposta do exame e a elaboração das questões, há um distanciamento, levando a avaliação para caminhos divergentes dos seus objetivos de criação (FERREIRA, 2011).

Para concluir a temática, podemos compreender que as fontes de energia são um assunto muito discutido nas avaliações do ENEM ao longo dos anos pela quantidade de itens presentes sob diversas perspectivas, mas carece de um aprofundamento nas questões sob a perspectiva das competências e conhecimentos para o Letramento Científico.

Na sequência vamos discutir outra temática importante e evidente no Exame.

4.4 POLUIÇÃO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Dando continuidade às análises, podemos perceber que havia várias questões que tratavam da poluição e os impactos ambientais causados por ela. Dessa forma, decidimos separar essa temática que é constituída por vinte e quatro questões, sendo que seis pertencem à prova PISA e dezoito pertencem à prova do ENEM. São elas: P32, P33, P34, P35, P36, P46, E2, E8, E10, E19, E5, E32, E39, E46, E48, E80, E116, E128, E134, E149, E178, E182, E192 e E195.

Segue o texto fornecido para resolução das questões P32 e P33 pertencentes à prova PISA, realizada no período de 2000-2006:

Figura 79 – Texto fornecido para as questões P32 e P33

Imagine que você more perto de uma grande fábrica de produtos químicos que produz fertilizantes agrícolas. Nos últimos anos, tem havido diversos casos de problemas respiratórios crônicos nas pessoas da região. Muitas pessoas acreditam que esses sintomas são causados pela fumaça tóxica emitida pela fábrica de fertilizantes químicos localizada nas proximidades.

Foi realizada uma reunião pública para discutir o perigo potencial da fábrica de produtos químicos para a saúde dos habitantes locais. Nessa reunião, os cientistas deram as seguintes declarações:

Declaração dos cientistas que trabalham para a empresa de produtos químicos.

“Fizemos um estudo relativo à toxicidade do solo nesta área. Não encontramos nenhum traço de produtos químicos tóxicos nas amostras coletadas.”

Declaração dos cientistas que trabalham para os habitantes da comunidade local que estão preocupados com essa situação.

“Contamos o número de casos de problemas respiratórios crônicos nesta área e os comparamos ao número de casos registrados em áreas distantes da fábrica de produtos químicos. Há mais ocorrências nas áreas próximas à fábrica de produtos químicos.”

Fonte: INEP ([20 --], p. 93)

Na continuidade, temos a questão P32:

Figura 80 – Questão P32

O proprietário da fábrica de produtos químicos usou a declaração dos cientistas que trabalham na empresa para afirmar que “a emissão de fumaças da fábrica não representa risco para a saúde dos habitantes locais”.

Dê uma justificativa que **permita duvidar** que a declaração dos cientistas que trabalham para a empresa confirma o argumento do proprietário.

Fonte: INEP ([20 --], p. 93-94).

Resposta esperada:

Fornecer uma justificativa apropriada que explique por que é possível duvidar de que a declaração dos cientistas confirma o argumento do proprietário: talvez a substância que causa os problemas respiratórios não tenha sido identificada como tóxica; talvez os problemas respiratórios tenham sido causados apenas pela presença de produtos químicos no ar e não por aqueles que estão no solo; as substâncias tóxicas podem alterar-se ou se decompor com o tempo e estar em estado não tóxico quando presentes no solo; não se sabe se as amostras são representativas de toda a área (INEP, [20 --], p. 93-94).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento

Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 68 – Análise da questão P32

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/nacional – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do possível impacto ambiental causado pela fábrica de produtos químicos que produz fertilizantes agrícolas.
Competência: <i>Avaliar e planejar experimentos científicos.</i>	O aluno deve ter a competência de propor formas de explorar o argumento dos cientistas que trabalham para a empresa quanto à sua credibilidade, descrevendo outros caminhos que possibilitam conclusões contrárias.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deverá analisar os argumentos dos cientistas para concluir se a premissa utilizada por eles é válida ou apenas vai ao encontro do interesse dos proprietários, questionando a natureza das conclusões científicas.

Na sequência temos a questão P33:

<p>Figura 81 – Questão P33</p> <p>Os cientistas que trabalham para os cidadãos preocupados com essa situação compararam o número de casos de pessoas com problemas respiratórios crônicos que moram próximos à fábrica de produtos químicos com o número de casos das pessoas que vivem em áreas distantes da fábrica.</p> <p>Descreva uma possível diferença entre as duas áreas que o levasse a pensar que a comparação não é válida.</p> <p>Fonte: INEP ([20 --], p. 94).</p>
<p>Resposta esperada:</p> <p><i>As respostas devem pôr em foco as possíveis diferenças entre as áreas analisadas: talvez o número de pessoas não seja idêntico nas duas áreas; talvez uma das áreas disponha de serviços médicos melhores do que a outra; as condições climáticas podem não ser as mesmas, pode haver porcentagens diferentes de pessoas idosas em cada área; pode haver outros fatores de poluição do ar na outra área (INEP, [20 --], p. 94).</i></p>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento

Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 69 – Análise da questão P33

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/nacional – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do possível impacto ambiental causado pela fábrica de produtos químicos que produz fertilizantes agrícolas.
Competência: <i>Avaliar e planejar experimentos científicos.</i>	O aluno deve ter a competência de propor formas de explorar o argumento dos cientistas que trabalham para os cidadãos, descrevendo possíveis fatores que contradizem a proposição dada.
Conhecimento: <i>epistêmico.</i>	O aluno deverá analisar como foi construído os argumentos dos cientistas que trabalham para a população, analisando a natureza das conclusões científicas para propor outras situações que contestem as conclusões anteriores sobre as regiões analisadas.

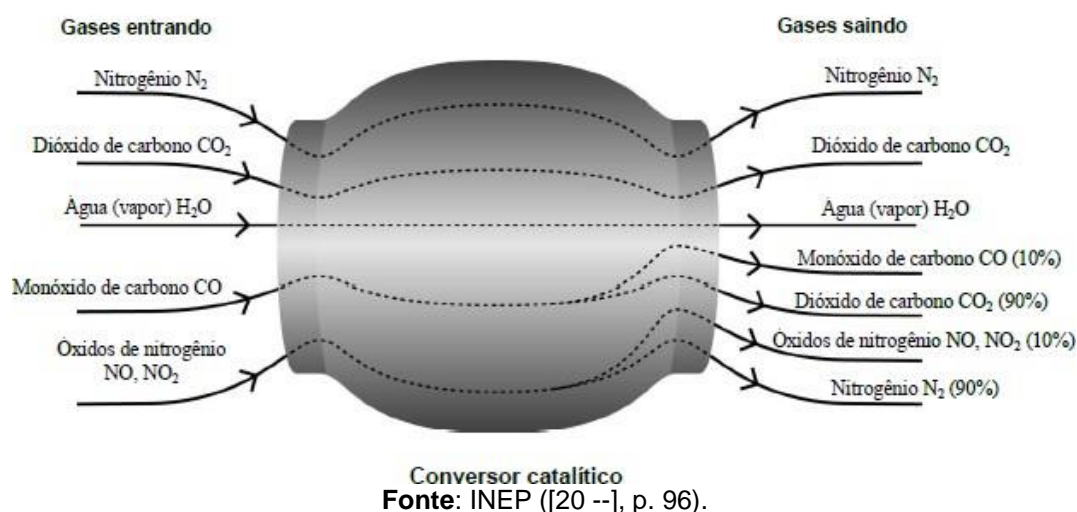
Devemos ressaltar essas duas questões analisadas quanto à competência de *avaliar e planejar experimentos científicos*, já que essa é pouco explorada. Avaliar as proposições científicas permite ao aluno chegar à conclusão de que o conhecimento científico não é uma verdade pré-estabelecida e eterna, que há maneiras de contestar as hipóteses criando argumentos válidos sobre a situação analisada, ao observá-la sob diferentes perspectivas.

Na sequência temos as questões P34 a P36 que também fazem parte da prova PISA do período de 2000 a 2006. Primeiramente segue o texto e esquema fornecido para elas:

Figura 82 – Texto e esquema fornecidos para as questões P34 a P36

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. Abaixo, apresentamos alguns dos gases que entram no conversor e a maneira como eles saem.



Na sequência, segue a questão P34:

Figura 83 – Questão P34

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

Fonte: INEP ([20 --], p. 96).

Resposta esperada:

Respostas que mencionam a conversão de monóxido de carbono ou óxidos de nitrogênio em outros compostos: 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 (INEP, [20 --], p. 96).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 70 – Análise da questão E70

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar da questão de controle da poluição do ar com a utilização dos conversores catalíticos.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de interpretar e analisar o conversor catalítico quanto à transformação dos gases prejudiciais em gases menos prejudiciais.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá compreender o procedimento de transformação dos gases, primeiramente identificando quais são tóxicos ao realizar a análise da ilustração, e concluindo que eles serão transformados em outros gases menos nocivos.

Na sequência, segue a questão P35:

<p>Figura 84 – Questão P35</p> <p>Dentro do conversor catalítico, ocorrem mudanças com os gases. Explique o que acontece em termos de átomos E moléculas.</p> <p>Fonte: INEP ([20 --], p. 97).</p>
<p>Resposta esperada:</p> <p><i>Expressa a ideia essencial na qual os átomos são reorganizados para formar moléculas diferentes, usando as duas palavras na mesma frase: as moléculas se quebram e os átomos são recombinaados para formar moléculas diferentes; os átomos se reorganizam para formar moléculas diferentes (INEP, [20 --], p. 97).</i></p>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 71 – Análise da questão P35

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar da questão de controle da poluição do ar com a utilização dos conversores catalíticos.

Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de justificar as previsões sobre a formação de novos gases, na percepção atômica e molecular.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento de como acontece uma reação química: para ocorrer a transformação química as moléculas irão se quebrar, os átomos irão se reorganizar e estabelecer novas ligações, dando origem a novas moléculas.

Na sequência, segue a questão P36:

<p>Figura 85 – Questão P36</p> <p>Examine os gases emitidos pelo conversor catalítico. Cite um dos problemas que os engenheiros e cientistas que trabalham com o conversor catalítico deverão tentar resolver para produzir gases de escapamento menos prejudiciais.</p> <p>Fonte: INEP ([20 --], p. 97).</p>
<p>Resposta esperada:</p> <p><i>Respostas aceitáveis devem fazer referência a uma melhora dos gases que são lançados na atmosfera (monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio) ou pela eliminação do dióxido de carbono: o monóxido de carbono não é totalmente transformado em dióxido de carbono; não é feita uma conversão suficiente dos óxidos de nitrogênio em nitrogênio; melhorar a porcentagem de monóxido de carbono convertido em dióxido de carbono, e a porcentagem de óxidos de nitrogênio convertidos em nitrogênio; o dióxido de carbono produzido deveria ser retido e impedido de escapar para a atmosfera; uma conversão mais completa de gases prejudiciais em gases menos prejudiciais (INEP, [20 --], p. 98).</i></p>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico, sendo elas o contexto (Quadro 5), a competência (Quadro 6) e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico (Figura 4, 5 ou 6), temos que:

Quadro 72 – Análise da questão P36

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar da questão de controle da poluição do ar com a utilização dos conversores catalíticos.

Competência: <i>Avaliar e planejar experimentos científicos.</i>	O aluno deve ter a competência de avaliar o trabalho científico identificando os problemas a serem trabalhados pelos engenheiros e cientistas para a emissão de gases menos poluentes.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá analisar os gases que entram no conversor catalítico e os que saem no processo de conversão, a proporção de cada um e a sua toxicidade e, com isso, analisar em que ponto os cientistas poderiam trabalhar para reduzir a emissão dos gases nocivos na atmosfera.

Nessa sequência de itens sobre o conversor catalítico, podemos destacar a predominância em relação às competências e conhecimentos com maior grau de complexidade e exigência do aluno no que diz respeito às discussões sobre o papel da ciência e do trabalho científico no desenvolvimento de equipamentos, com o intuito de reduzir a poluição atmosférica, permitindo ao aluno reflexões sobre a importância da ciência nesse contexto ambiental, que por diversas vezes é apresentada como vilã.

Na sequência temos o texto e a imagem fornecidos para a questão P46 que faz parte da prova PISA de 2006.

Figura 86 – Texto e imagem fornecidos para a questão P46.

Abaixo, temos uma foto das estátuas chamadas cariátides que foram construídas na Acrópole, em Atenas, há mais de 2 500 anos. As estátuas são feitas de mármore, um tipo de rocha composta de carbonato de cálcio.



Em 1980, as estátuas originais foram transferidas para dentro do museu da Acrópole e substituídas por réplicas. As estátuas originais estavam sendo corroídas pela chuva ácida.

Fonte: INEP ([20 --], p. 135).

Na sequência temos o item P46:

Figura 87 – Questão P46

A chuva normal é ligeiramente ácida, porque contém dissolvido um pouco de dióxido de carbono do ar. A chuva ácida é muito mais ácida do que a chuva normal, porque absorve gases como óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio.

De onde provêm esses óxidos de enxofre e de nitrogênio encontrados no ar?

Fonte: INEP ([20 --], p. 135).

Resposta esperada:

O aluno menciona qualquer uma das seguintes fontes: gases de escapamento de carros, as emissões de gases das fábricas, a queima de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão, os gases provenientes de vulcões ou outras fontes semelhantes. A queima de carvão e gasolina; os óxidos do ar provenientes da poluição das fábricas e da indústria (INEP, [20 --], p. 136).

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o

conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 73 – Análise da questão P46

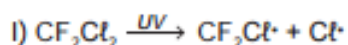
Critério	Análise
Contexto: <i>Global – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar da questão da poluição do ar pelos óxidos, que ao entrarem em contato com a água, produzem a chuva ácida.
Competência: <i>Explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ser capaz de lembrar e aplicar o conhecimento científico referente aos óxidos e suas reações com a água, resultando em ácidos.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento de onde vêm os gases pertencentes à classe dos óxidos, em especial os óxidos de enxofre e de nitrogênio, causadores da chuva ácida, que são resultantes da queima dos combustíveis fósseis, dos processos industriais, dos escapamentos de veículos, etc.

Agora vamos analisar as questões do ENEM que tratam da poluição e seus impactos ambientais. As questões E2, E8 e E10, apresentadas na sequência, fazem parte da prova do ENEM de 2012.

Figura 88 – Questão E2

QUESTÃO 53

O rótulo de um desodorante aerossol informa ao consumidor que o produto possui em sua composição os gases isobutano, butano e propano, dentre outras substâncias. Além dessa informação, o rótulo traz, ainda, a inscrição "Não contém CFC". As reações a seguir, que ocorrem na estratosfera, justificam a não utilização de CFC (clorofluorcarbono ou Freon) nesse desodorante:



A preocupação com as possíveis ameaças à camada de ozônio (O_3) baseia-se na sua principal função: proteger a matéria viva na Terra dos efeitos prejudiciais dos raios solares ultravioleta. A absorção da radiação ultravioleta pelo ozônio estratosférico é intensa o suficiente para eliminar boa parte da fração de ultravioleta que é prejudicial à vida.

A finalidade da utilização dos gases isobutano, butano e propano neste aerossol é

- A substituir o CFC, pois não reagem com o ozônio, servindo como gases propelentes em aerossóis.
- B servir como propelentes, pois, como são muito reativos, capturam o Freon existente livre na atmosfera, impedindo a destruição do ozônio.
- C reagir com o ar, pois se decompõem espontaneamente em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O), que não atacam o ozônio.
- D impedir a destruição do ozônio pelo CFC, pois os hidrocarbonetos gasosos reagem com a radiação UV, liberando hidrogênio (H_2), que reage com o oxigênio do ar (O_2), formando água (H_2O).
- E destruir o CFC, pois reagem com a radiação UV, liberando carbono (C), que reage com o oxigênio do ar (O_2), formando dióxido de carbono (CO_2), que é inofensivo para a camada de ozônio.

Fonte: ENEM (2012, p. 17)

Resposta esperada:

Alternativa A - substituir o CFC, pois não reagem com o ozônio, servindo como gases propelentes em aerossóis.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 74 – Análise da questão E2

Critério	Análise
Contexto: <i>Pessoal – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de uma ação ambientalmente amigável, ou seja, a redução da emissão do CFC substituído pelos gases isobutano, butano e propano que não reagem com o ozônio.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de interpretar as reações químicas, transformando os dados dessa representação, com o intuito de identificar o papel dos CFC's na destruição da camada de ozônio e a importância de substituí-lo.
Conhecimento: <i>Epistêmico.</i>	O aluno deve compreender o raciocínio envolvido no processo de transformação do ozônio ao entrar em contato com o CFC, para justificar a utilização de outros gases (isobutano, butano e propano) no aerossol que não seja o Freón.

Na sequência, vamos apresentar a questão E8 e discuti-la quanto aos parâmetros para o Letramento Científico:

Figura 89 – Questão E8**QUESTÃO 70**

Em uma planície, ocorreu um acidente ambiental em decorrência do derramamento de grande quantidade de um hidrocarboneto que se apresenta na forma pastosa à temperatura ambiente. Um químico ambiental utilizou uma quantidade apropriada de uma solução de para-dodecil-benzenossulfonato de sódio, um agente tensoativo sintético, para diminuir os impactos desse acidente.

Essa intervenção produz resultados positivos para o ambiente porque

- A promove uma reação de substituição no hidrocarboneto, tornando-o menos letal ao ambiente.
- B a hidrólise do para-dodecil-benzenossulfonato de sódio produz energia térmica suficiente para vaporizar o hidrocarboneto.
- C a mistura desses reagentes provoca a combustão do hidrocarboneto, o que diminui a quantidade dessa substância na natureza.
- D a solução de para-dodecil-benzenossulfonato possibilita a solubilização do hidrocarboneto.
- E o reagente adicionado provoca uma solidificação do hidrocarboneto, o que facilita sua retirada do ambiente.

Fonte: ENEM (2012, p. 23)

Resposta esperada:

Alternativa D - a solução de para-dodecil-benzenossulfonato possibilita a solubilização do hidrocarboneto.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 75 – Análise da questão E8

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/nacional – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar dos impactos ambientais causados pelo derramamento do hidrocarboneto.

conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 76 – Análise da questão E10

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/nacional – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar dos impactos ambientais causados pela emissão do ácido clorídrico na queima do PVC.
Competência: <i>Explicar cientificamente os fenômenos.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento necessário para solucionar o problema proposto da emissão do cloreto de hidrogênio ou ácido clorídrico.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento das propriedades das substâncias químicas. Em destaque, aqui, o conhecimento de que o cloreto de hidrogênio é um ácido e que para neutralizá-lo deve-se utilizar uma base, e dentre as opções dadas, a única base é a água de cal – Ca(OH)_2 .

As questões E19 e E25, apresentadas na sequência, fazem parte da prova do ENEM de 2013.

Figura 91 - Questão E19**QUESTÃO 51**

Química Verde pode ser definida como a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente. Sabe-se que algumas fontes energéticas desenvolvidas pelo homem exercem, ou têm potencial para exercer, em algum nível, impactos ambientais negativos.

CORRÊA, A. G.; ZUIN, V. G. (Orgs.). *Química Verde: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EdUFSCar, 2009.

À luz da Química Verde, métodos devem ser desenvolvidos para eliminar ou reduzir a poluição do ar causada especialmente pelas

- A hidrelétricas.
- B termelétricas.
- C usinas geotérmicas.
- D fontes de energia solar.
- E fontes de energia eólica.

Fonte: ENEM (2013, p. 17)

Resposta esperada:

Alternativa B – termelétricas.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:


Quadro 77 – Análise da questão E19

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar da preocupação com a redução da poluição do ar, à luz da Química verde.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de analisar dentre as proposições apresentadas, qual é a capaz de causar a poluição do ar, e que por isso deve ser pensada, com o intuito de desenvolver métodos para eliminar ou reduzir essa poluição.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento do

	procedimento possível a ser realizado com o intuito de reduzir a poluição do ar, ou melhor, o conhecimento sobre qual fonte energética é capaz de causar a poluição do ar, e que merece atenção no desenvolvimento de métodos.
--	--

Na sequência, temos a questão E25:

Figura 92 - Questão E25

QUESTÃO 69 

A formação frequente de grandes volumes de pirita (FeS_2) em uma variedade de depósitos minerais favorece a formação de soluções ácidas ferruginosas, conhecidas como “drenagem ácida de minas”. Esse fenômeno tem sido bastante pesquisado pelos cientistas e representa uma grande preocupação entre os impactos da mineração no ambiente. Em contato com oxigênio, a $25\text{ }^\circ\text{C}$, a pirita sofre reação, de acordo com a equação química:

$$4 \text{FeS}_2 (\text{s}) + 15 \text{O}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 (\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq})$$

FIGUEIREDO, B. R. *Minérios e ambiente*. Campinas: Unicamp, 2000.

Para corrigir os problemas ambientais causados por essa drenagem, a substância mais recomendada a ser adicionada ao meio é o

- A sulfeto de sódio.
- B cloreto de amônio.
- C dióxido de enxofre.
- D dióxido de carbono.
- E carbonato de cálcio.

-

Fonte: ENEM (2013, p. 23)

Resposta esperada:
Alternativa E – carbonato de cálcio

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

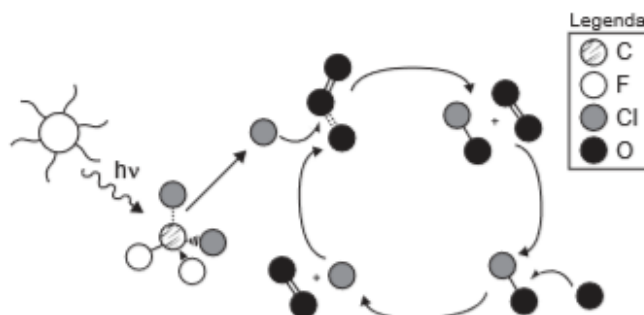
Quadro 78 – Análise da questão E25

Critério	Análise
Contexto: <i>Local / nacional – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar dos impactos da mineração no ambiente.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar qual é o caráter da substância capaz de neutralizar o ácido e identificá-la nas alternativas presentes.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento do caráter dos sais apresentados e determinar qual seria o sal básico capaz de neutralizar o ácido liberado na drenagem das minas.

As questões E32, E39, E46 e E48, apresentadas na sequência, fazem parte da prova do ENEM de 2014.

Figura 93 - Questão E32**QUESTÃO 48**

A liberação dos gases clorofluorcarbonos (CFCs) na atmosfera pode provocar depleção de ozônio (O_3) na estratosfera. O ozônio estratosférico é responsável por absorver parte da radiação ultravioleta emitida pelo Sol, a qual é nociva aos seres vivos. Esse processo, na camada de ozônio, é ilustrado simplificada na figura.



Quimicamente, a destruição do ozônio na atmosfera por gases CFCs é decorrência da

- A clivagem da molécula de ozônio pelos CFCs para produzir espécies radicalares.
- B produção de oxigênio molecular a partir de ozônio, catalisada por átomos de cloro.
- C oxidação do monóxido de cloro por átomos de oxigênio para produzir átomos de cloro.
- D reação direta entre os CFCs e o ozônio para produzir oxigênio molecular e monóxido de cloro.
- E reação de substituição de um dos átomos de oxigênio na molécula de ozônio por átomos de cloro.

Fonte: ENEM (2014, p. 16)

Resposta esperada:

Alternativa B – produção de oxigênio molecular a partir de ozônio, catalisada por átomos de cloro.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 79 – Análise da questão E32

Critério	Análise
Contexto: <i>Local/Nacional – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do impacto ambiental causado pela

	emissão do CFC.
Competência: <i>Interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de interpretar a ilustração com base na legenda, para distinguir entre os compostos formados no processo.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá interpretar as imagens e compreender o processo no qual as moléculas de ozônio são degradadas em gás oxigênio e catalisadas pelo cloro proveniente dos CFCs.

Na continuidade, temos a questão E39:

Figura 94 – Questão E39

QUESTÃO 66 =====

A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe **poluição térmica**. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição.

Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

A Fissão do material radioativo.

B Condensação do vapor-d'água no final do processo.

C Conversão de energia das turbinas pelos geradores.

D Aquecimento da água líquida para gerar vapor-d'água.

E Lançamento do vapor-d'água sobre as pás das turbinas.

Fonte: ENEM (2014, p. 23)

Resposta esperada:

Alternativa B – condensação do vapor-d'água no final do processo.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 80 – Análise da questão E39

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do controle da poluição térmica, já que esse impacto diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deverá ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento sobre as usinas nucleares e as etapas de geração de energia.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento de como funciona uma usina nuclear e suas etapas na geração de energia, para identificar em qual etapa ocorre a poluição térmica.

Na continuidade, temos a questão E46:

Figura 95 - Questão E46

QUESTÃO 83

A utilização de processos de biorremediação de resíduos gerados pela combustão incompleta de compostos orgânicos tem se tornado crescente, visando minimizar a poluição ambiental. Para a ocorrência de resíduos de naftaleno, algumas legislações limitam sua concentração em até 30 mg/kg para solo agrícola e 0,14 mg/L para água subterrânea. A quantificação desse resíduo foi realizada em diferentes ambientes, utilizando-se amostras de 500 g de solo e 100 mL de água, conforme apresentado no quadro.

Ambiente	Resíduo de naftaleno (g)
Solo I	$1,0 \times 10^{-2}$
Solo II	$2,0 \times 10^{-2}$
Água I	$7,0 \times 10^{-6}$
Água II	$8,0 \times 10^{-6}$
Água III	$9,0 \times 10^{-6}$

O ambiente que necessita de biorremediação é o(a)

- A solo I.
- B solo II.
- C água I.
- D água II.
- E água III.

Fonte: ENEM (2014, p. 29)

Resposta esperada:
Alternativa B – solo II

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 81 – Análise da questão E46

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do impacto ambiental causado pelos resíduos de combustão incompleta de compostos orgânicos e o tratamento com biorremediação.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento do conteúdo de concentrações de forma adequada.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá realizar o cálculo da concentração do naftaleno nos diferentes ambientes para verificar qual solo está com concentração acima do permitido e, por isso, necessita de biorremediação.

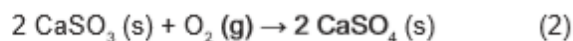
Na continuidade, temos a questão E48:

Figura 96 - Questão E48**QUESTÃO 88**

Grandes fontes de emissão do gás dióxido de enxofre são as indústrias de extração de cobre e níquel, em decorrência da oxidação dos minérios sulfurados. Para evitar a liberação desses óxidos na atmosfera e a consequente formação da chuva ácida, o gás pode ser lavado, em um processo conhecido como dessulfurização, conforme mostrado na equação (1).



Por sua vez, o sulfito de cálcio formado pode ser oxidado, com o auxílio do ar atmosférico, para a obtenção do sulfato de cálcio, como mostrado na equação (2). Essa etapa é de grande interesse porque o produto da reação, popularmente conhecido como gesso, é utilizado para fins agrícolas.



As massas molares dos elementos carbono, oxigênio, enxofre e cálcio são iguais a 12 g/mol, 16 g/mol, 32 g/mol e 40 g/mol, respectivamente.

BAIRD, C. *Química ambiental*. Porto Alegre: Bookman, 2002 (adaptado).

Considerando um rendimento de 90% no processo, a massa de gesso obtida, em gramas, por mol de gás retido é mais próxima de

- A 64.
- B 108.
- C 122.
- D 136.
- E 245.

Fonte: ENEM (2014, p. 31)

Resposta esperada:
Alternativa C – 122

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 82 – Análise da questão E48

Critério	Análise
Contexto: <i>Global – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do impacto ambiental causado pela emissão de óxidos na atmosfera e uma forma de transformar esses produtos

	em uma substância utilizada para fins agrícolas.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deverá ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento sobre o conteúdo estequiometria e rendimento da reação.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá realizar um cálculo para determinar a massa de gesso obtido, considerando a proporção de dióxido que fará parte do processo de dessulfurização e será convertido a sulfito de cálcio, que por sua vez será convertido no gesso.

A questão E80, apresentada a seguir, faz parte da prova do ENEM de 2016.

Figura 97 - Questão E80

QUESTÃO 78

Após seu desgaste completo, os pneus podem ser queimados para a geração de energia. Dentre os gases gerados na combustão completa da borracha vulcanizada, alguns são poluentes e provocam a chuva ácida. Para evitar que escapem para a atmosfera, esses gases podem ser borbulhados em uma solução aquosa contendo uma substância adequada. Considere as informações das substâncias listadas no quadro.

Substância	Equilíbrio em solução aquosa	Valor da constante de equilíbrio
Fenol	$C_6H_5OH + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5O^- + H_3O^+$	$1,3 \times 10^{-10}$
Piridina	$C_5H_5N + H_2O \rightleftharpoons C_5H_5NH^+ + OH^-$	$1,7 \times 10^{-9}$
Metilamina	$CH_3NH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3NH_3^+ + OH^-$	$4,4 \times 10^{-4}$
Hidrogenofosfato de potássio	$HPO_4^{2-} + H_2O \rightleftharpoons H_2PO_4^- + OH^-$	$2,8 \times 10^{-2}$
Hidrogenosulfato de potássio	$HSO_4^- + H_2O \rightleftharpoons SO_4^{2-} + H_3O^+$	$3,1 \times 10^{-2}$

Dentre as substâncias listadas no quadro, aquela capaz de remover com maior eficiência os gases poluentes é o(a)

- A** fenol.
- B** piridina.
- C** metilamina.
- D** hidrogenofosfato de potássio.
- E** hidrogenosulfato de potássio.

Fonte: ENEM (2016, p. 27)

Resposta esperada:

Alternativa D – hidrogenofosfato de potássio.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o

conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 83 – Análise da questão E80

Critério	Análise
Contexto: Global – Qualidade ambiental.	Refere-se a esse contexto por tratar do controle da poluição causada pelos gases liberados na combustão completa da borracha do pneu.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de identificar na tabela apresentada qual é a substância básica capaz de neutralizar os óxidos ácidos com maior eficiência, observando o valor da constante de equilíbrio.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento de que os óxidos liberados na queima do pneu são ácidos e para neutralizá-los seria necessária uma substância básica. Dentre as substâncias básicas apresentadas na tabela, a que terá maior força para neutralizar é a que contém o maior valor da constante de equilíbrio sendo, portanto, o hidrogenofosfato de potássio.

A questão E116, apresentada a seguir, faz parte da prova do ENEM de 2018.

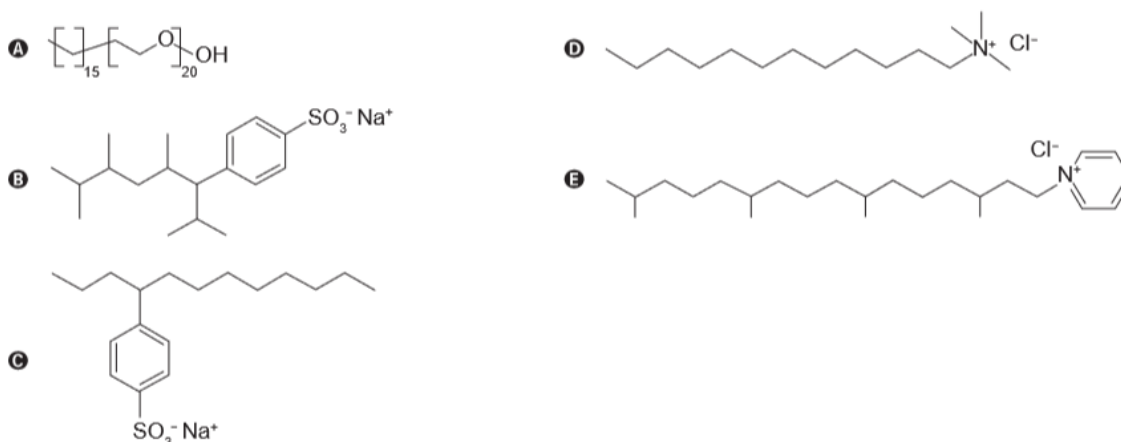
Figura 98 - Questão E116

QUESTÃO 126

Tensoativos são compostos orgânicos que possuem comportamento anfílico, isto é, possuem duas regiões, uma hidrofóbica e outra hidrofílica. O principal tensoativo aniônico sintético surgiu na década de 1940 e teve grande aceitação no mercado de detergentes em razão do melhor desempenho comparado ao do sabão. No entanto, o uso desse produto provocou grandes problemas ambientais, dentre eles a resistência à degradação biológica, por causa dos diversos carbonos terciários na cadeia que compõe a porção hidrofóbica desse tensoativo aniônico. As ramificações na cadeia dificultam sua degradação, levando à persistência no meio ambiente por longos períodos. Isso levou a sua substituição na maioria dos países por tensoativos biodegradáveis, ou seja, com cadeias alquílicas lineares.

PENTEADO, J. C. P.; EL SEUD, O. A.; CARVALHO, L. R. F. [...]: uma abordagem ambiental e analítica. Química Nova, n. 5, 2006 (adaptado).

Qual a fórmula estrutural do tensoativo persistente no ambiente mencionado no texto?



Fonte: ENEM (2018, p.12)

Resposta esperada:
Alternativa B

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 84 – Análise da questão E116

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar de um tensoativo aniônico sintético resistente à degradação biológica e que provocou grandes problemas ambientais.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de lembrar e aplicar o conhecimento do conteúdo sobre as cadeias carbônicas.
Conhecimento: <i>Conteúdo.</i>	O aluno deverá identificar a cadeia que

	apresenta as características citadas no texto: com parte hidrofílica e outra hidrofóbica, com diversos carbonos terciários e ramificada.
--	--

As questões E128 e E134, apresentadas a seguir, fazem parte da prova de aplicação regular do ENEM de 2019.

Figura 99 - Questão E128

Questão 115

O concreto utilizado na construção civil é um material formado por cimento misturado a areia, a brita e a água. A areia é normalmente extraída de leitos de rios e a brita, oriunda da fragmentação de rochas. Impactos ambientais gerados no uso do concreto estão associados à extração de recursos minerais e ao descarte indiscriminado desse material. Na tentativa de reverter esse quadro, foi proposta a utilização de concreto reciclado moído em substituição ao particulado rochoso graúdo na fabricação de novo concreto, obtendo um material com as mesmas propriedades que o anterior.

O benefício ambiental gerado nessa proposta é a redução do(a)

- A** extração da brita.
- B** extração de areia.
- C** consumo de água.
- D** consumo de concreto.
- E** fabricação de cimento.

Fonte: ENEM (2019a, p.9)

Resposta esperada:

Alternativa A – extração da brita

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 85 – Análise da questão E128

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar dos impactos ambientais associados à extração de recursos minerais para a

	produção do concreto.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de analisar e interpretar o enunciado do exercício a fim de identificar qual é o material que será substituído pelo concreto reciclado moído.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar a situação problema que sugere a substituição da brita pelo concreto reciclado moído, refletindo sobre o benefício ambiental que essa ação pode produzir.

Na continuidade, temos a questão E134:

Figura 100 - Questão E134

Questão 123

A poluição radioativa compreende mais de 200 nuclídeos, sendo que, do ponto de vista de impacto ambiental, destacam-se o cézio-137 e o estrôncio-90. A maior contribuição de radionuclídeos antropogênicos no meio marinho ocorreu durante as décadas de 1950 e 1960, como resultado dos testes nucleares realizados na atmosfera. O estrôncio-90 pode se acumular nos organismos vivos e em cadeias alimentares e, em razão de sua semelhança química, pode participar no equilíbrio com carbonato e substituir o cálcio em diversos processos biológicos.

FIGUEIRA, R. C. L.; CUNHA, I. I. L. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. *Química Nova*, n. 21, 1998 (adaptado).

Ao entrar numa cadeia alimentar da qual o homem faz parte, em qual tecido do organismo humano o estrôncio-90 será acumulado predominantemente?

- A** Cartilaginoso.
- B** Sanguíneo.
- C** Muscular.
- D** Nervoso.
- E** Ósseo.

Fonte: ENEM (2019a, p.12)

Resposta esperada:
Alternativa E – Ósseo

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento

Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 86 – Análise da questão E134

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – qualidade ambiental.</i>	Relaciona-se a esse contexto por se tratar do impacto ambiental causado pela poluição radioativa.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de analisar e interpretar o texto apresentado que retrata a substituição do estrôncio-90 pelo cálcio em processos biológicos, tirando conclusões apropriadas sobre o tecido humano no qual ele poderá se acumular.
Conhecimento: <i>Procedimental.</i>	O aluno deverá ser capaz de relacionar o processo no qual ocorre a substituição do cálcio pelo estrôncio-90, chegando à conclusão de que o cálcio é predominantemente encontrado no tecido ósseo.

A questão E149, apresentada a seguir, faz parte da prova de reaplicação do ENEM de 2019.

Figura 101 - Questão E149

.....

Questão 113

O mármore, rocha metamórfica composta principalmente de carbonato de cálcio (CaCO_3), é muito utilizada como material de construção e também na produção de esculturas. Entretanto, se peças de mármore são expostas a ambientes externos, particularmente em grandes cidades e zonas industriais, elas sofrem ao longo do tempo um processo de desgaste, caracterizado pela perda de massa da peça.

Esse processo de deterioração ocorre em função da

- A** oxidação do mármore superficial pelo oxigênio.
- B** decomposição do mármore pela radiação solar.
- C** onda de choque provocada por ruídos externos.
- D** abrasão por material particulado presente no ar.
- E** acidez da chuva que cai sobre a superfície da peça.

Fonte: ENEM (2019b, p.10)

Resposta esperada:

Alternativa E – acidez da chuva que cai sobre a superfície da peça.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 87 – Análise da questão E149

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – riscos.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar de mudanças lentas nas peças de mármore, ocasionadas pela acidez da chuva.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ser capaz de oferecer uma hipótese explicativa ao processo de deterioração, ao identificar no enunciado sobre a corrosão do mármore em grandes cidades e zonas industriais.
Conhecimento: <i>Conteúdo</i>	O aluno deverá ter o conhecimento do conteúdo sobre a formação da chuva ácida, sendo que em grandes cidades e centros industriais ocorre uma grande emissão de óxidos ácidos, que ao

	reagirem com a água da chuva, formam ácidos fortes que precipitam ocasionando danos aos materiais feitos de mármore, pois estes reagem com o carbonato de cálcio.
--	---

A questões E178, E182, E192 e E195, apresentadas a seguir, fazem parte da prova de aplicação regular do ENEM de 2020.

Figura 102 - Questão E178

Questão 92

A enorme quantidade de resíduos gerados pelo consumo crescente da sociedade traz para a humanidade uma preocupação socioambiental, em especial pela quantidade de lixo produzido. Além da reciclagem e do reúso, pode-se melhorar ainda mais a qualidade de vida, substituindo polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis.

Esses polímeros têm grandes vantagens socioambientais em relação aos convencionais porque

- A não são tóxicos.
- B não precisam ser reciclados.
- C não causam poluição ambiental quando descartados.
- D são degradados em um tempo bastante menor que os convencionais.
- E apresentam propriedades mecânicas semelhantes aos convencionais.

Fonte: ENEM (2020b, p.2)

Resposta esperada:

Alternativa D – são degradados em um tempo bastante menor que os convencionais.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 88 – Análise da questão E178

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – Qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por se tratar do descarte de lixo e a utilização de polímeros biodegradáveis.

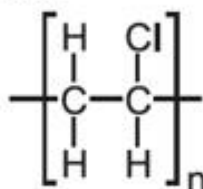
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente</i>	O aluno deve ter a competência de oferecer uma hipótese explicativa para esclarecer a vantagem socioambiental do polímero biodegradável em relação ao polímero comum.
Conhecimento: <i>conteúdo</i> .	O aluno deverá ter o conhecimento do que são os polímeros biodegradáveis, a fim de compará-los com os polímeros comuns.

Na sequência, temos a questão E182:

Figura 103 – Questão E182

Questão 100

Nos dias atuais, o amplo uso de objetos de plástico gera bastante lixo, que muitas vezes é eliminado pela população por meio da queima. Esse procedimento é prejudicial ao meio ambiente por lançar substâncias poluentes. Para constatar esse problema, um estudante analisou a decomposição térmica do policloreto de vinila (PVC), um tipo de plástico, cuja estrutura é representada na figura.



Policloreto de vinila (PVC)

Para realizar esse experimento, o estudante colocou uma amostra de filme de PVC em um tubo de ensaio e o aqueceu, promovendo a decomposição térmica. Houve a liberação majoritária de um gás diatômico heteronuclear que foi recolhido em um recipiente acoplado ao tubo de ensaio. Esse gás, quando borbulhado em solução alcalina diluída contendo indicador ácido-base, alterou a cor da solução. Além disso, em contato com uma solução aquosa de carbonato de sódio (Na_2CO_3), liberou gás carbônico.

Qual foi o gás liberado majoritariamente na decomposição térmica desse tipo de plástico?

- A** H_2
- B** Cl_2
- C** CO
- D** CO_2
- E** HCl

Fonte: ENEM (2020b, p.5)
Resposta esperada: <i>Alternativa E – HCl</i>

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 89– Análise da questão E182

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do descarte do plástico no lixo e do poluente liberado na sua queima.
Competência: <i>interpretar dados e evidências cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de analisar e avaliar os dados fornecidos, a fim de chegar a uma conclusão científica apropriada sobre a substância poluente resultante da queima do plástico.
Conhecimento: <i>procedimental.</i>	O aluno deverá ser capaz de interpretar os resultados do experimento, analisando qual substância é diatômica que altera a cor do indicador em meio alcalino e reage com o carbonato de sódio, produzindo o ácido carbônico, a fim de concluir qual substância é liberada na combustão do PVC.

Na sequência temos a questão E192:

Figura 104 – Questão E192

Questão 124 2022enem2022enem2022enem

Em 2011, uma falha no processo de perfuração realizado por uma empresa petrolífera ocasionou derramamento de petróleo na bacia hidrográfica de Campos, no Rio de Janeiro.

Os impactos decorrentes desse derramamento ocorrem porque os componentes do petróleo

- Ⓐ reagem com a água do mar e sofrem degradação, gerando compostos com elevada toxicidade.
- Ⓑ acidificam o meio, promovendo o desgaste das conchas calcárias de moluscos e a morte de corais.
- Ⓒ dissolvem-se na água, causando a mortandade dos seres marinhos por ingestão da água contaminada.
- Ⓓ têm caráter hidrofóbico e baixa densidade, impedindo as trocas gasosas entre o meio aquático e a atmosfera.
- Ⓔ têm cadeia pequena e elevada volatilidade, contaminando a atmosfera local e regional em função dos ventos nas orlas marítimas.

Fonte: ENEM (2020b, p.12)

Resposta esperada:

Alternativa D – têm caráter hidrofóbico e baixa densidade, impedindo as trocas gasosas entre o meio aquático e a atmosfera.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 90 – Análise da questão E192

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – qualidade ambiental.</i>	Relaciona-se a esse contexto por tratar dos impactos ambientais causados pelo derramamento do petróleo.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de explicar as implicações do derramamento de petróleo no meio aquático, ao lembrar que o petróleo é composto por hidrocarbonetos.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ser capaz de explicar as propriedades dos derivados do petróleo, os hidrocarbonetos, ao entrarem em contato com o meio

aquático.

Apresentamos a última questão, a E195:

Figura 105 – Questão E195

Questão 132

Megaespetáculos com queima de grande quantidade de fogos de artifício em festas de final de ano são muito comuns no Brasil. Após a queima, grande quantidade de material particulado permanece suspensa no ar. Entre os resíduos, encontram-se compostos de sódio, potássio, bário, cálcio, chumbo, antimônio, cromo, além de percloratos e gases, como os dióxidos de nitrogênio e enxofre.

BRUNNING, A. The Chemistry of Firework Pollution. Disponível em: www.compoundchem.com. Acesso em: 1 dez. 2017 (adaptado).

Esses espetáculos promovem riscos ambientais, porque

- A** as substâncias resultantes da queima de fogos de artifício são inflamáveis.
- B** os resíduos produzidos na queima de fogos de artifício ainda são explosivos.
- C** o sódio e o potássio são os principais responsáveis pela toxicidade do produto da queima.
- D** os produtos da queima contêm metais pesados e gases tóxicos que resultam em poluição atmosférica.
- E** o material particulado gerado se deposita na superfície das folhas das plantas impedindo os processos de respiração celular.

Fonte: ENEM (2020b, p.15)

Resposta esperada:

Alternativa D – os produtos da queima contêm metais pesados e gases tóxicos que resultam em poluição atmosférica.

Interpretando essa questão quanto às dimensões do Letramento Científico sistematizadas no quadro 7, sendo elas o contexto, a competência e o conhecimento do conteúdo ou procedimental ou epistêmico, temos que:

Quadro 91 – Análise da questão E195

Critério	Análise
Contexto: <i>local/nacional – qualidade ambiental.</i>	Refere-se a esse contexto por tratar do impacto ambiental resultante da queima de grande quantidade de fogos

	de artifício.
Competência: <i>explicar fenômenos cientificamente.</i>	O aluno deve ter a competência de explicar as implicações da emissão dos materiais particulados resultante da queima dos fogos de artifício.
Conhecimento: <i>conteúdo.</i>	O aluno deverá ter o conhecimento dos resíduos listados provenientes da queima dos fogos de artifício e dos riscos ambientais que eles podem oferecer.

Agora, após o estudo quanto às dimensões do Letramento Científico, vamos sintetizar as análises estabelecendo conexões entre PISA e ENEM. Para dar início, elaboramos um resumo organizado no quadro 15 exibido, na sequência, para que possamos ter uma visão de toda a temática durante a sua discussão:

Quadro 92 – Análises do tema Poluição e seus impactos ambientais

Questões	Contexto	Competência	Conhecimento
P32	Local/nacional	Avaliar e planejar experimentos científicos	Epistêmico
P33	Local/nacional	Avaliar e planejar experimentos científicos	Epistêmico
P34	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
P35	Global	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
P36	Global	Avaliar e planejar experimentos científicos	Procedimental
P46	Global	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E2	Pessoal	Interpretar dados e evidências cientificamente	Epistêmico
E8	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E10	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E19	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental
E25	Local/nacional	Explicar fenômenos cientificamente	Conteúdo
E32	Global	Interpretar dados e evidências cientificamente	Procedimental

E39	Global	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E46	Global	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E48	Global	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E80	Global	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E116	Local/nacional	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E128	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente		Procedimental
E134	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente		Procedimental
E149	Local/nacional	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E178	Local/nacional	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E182	Local/nacional	Interpretar dados e evidências cientificamente		Procedimental
E192	Local/nacional	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo
E195	Local/nacional	Explicar cientificamente	fenômenos	Conteúdo

Fonte: o próprio autor.

Um impacto ambiental causado pela poluição atmosférica e recorrente em algumas questões é a chuva ácida. No PISA, a questão P46 (figura 87) discute esse assunto e questiona a origem dos óxidos de enxofre e nitrogênio encontrados no ar que dão origem a ela. Para solucioná-la o aluno deve recordar de onde vêm esses óxidos sendo necessário, portanto, lembrar e aplicar o conhecimento do conteúdo. No ENEM, a questão E80 (figura 97) também trata da emissão de gases que produzem a chuva ácida, contudo propõe uma solução para evitar que esses gases escapem para a atmosfera, sendo necessário borbulhá-los em uma solução aquosa. Para solucioná-la o aluno deve escolher a substância mais eficiente para neutralizar os óxidos. Já a questão E149 (figura 101) exige que o aluno ofereça uma hipótese explicativa para o fato de o mármore deteriorar-se ao longo do tempo, ao permanecer exposto a ambientes externos.

Em todas as questões que discutem esse impacto, é necessário que o aluno tenha a competência para explicar fenômenos cientificamente, sendo

essencial somente o conhecimento do conteúdo para solucioná-las. Todavia, um ponto positivo do ENEM em relação ao PISA, nesse impacto ambiental, é que ele não só expõe o problema da chuva ácida, mas também propõe ao aluno que escolha uma dentre as opções como solução, com a redução da emissão dos gases ao serem borbulhados em solução aquosa contendo a solução adequada.

Outro problema recorrente no ENEM é a emissão dos gases CFCs que ocasionam a destruição da camada de ozônio. A questão E2 apresenta duas reações químicas demonstrando o comportamento do CFC na presença do ozônio, justificando a não utilização deles como propelente em aerossóis, e a alternativa na substituição por outros gases que não reagem com o ozônio. A questão exige do aluno um conhecimento epistêmico, já que para solucioná-la ele deve compreender o raciocínio envolvido no processo de transformação do ozônio ao entrar em contato com o CFC, que justifique a utilização de outros gases. Já a questão E32 exige do aluno o conhecimento procedimental ao solicitar que o mesmo interprete uma ilustração que demonstra as moléculas, e compreenda o processo no qual elas são degradadas em gás oxigênio e catalisadas pelo cloro proveniente dos CFCs.

Dessa forma podemos concluir que a discussão sobre a destruição da camada de ozônio causado pela emissão dos CFCs foi bem retratada no exame ao realizar questionamentos que exigem um conhecimento do procedimento e da justificativa para o seu uso, proporcionando aos alunos excelentes reflexões em relação à tomada de decisão no consumo de materiais que emitem esses gases, tão prejudiciais ao meio ambiente.

Quanto ao **contexto** das questões que compõem essa temática, nas questões PISA é predominate o contexto Global, com enfoque na qualidade ambiental, adequado ao nível de estudantes que essa avaliação abrange. Já nas questões do ENEM o contexto predominante é o Local/nacional, pertinente ao público alvo dessa avaliação. Essa análise nos permite novamente confirmar o quão adequadas estão essas avaliações, nesse quesito.

Ainda podemos perceber que as questões do ENEM trouxeram uma contextualização diversificada quanto aos diferentes tipos de poluição: poluição atmosférica resultante da emissão de gases poluentes, impactos causados pela mineração, poluição térmica das águas, poluição radioativa,

poluição das águas pelo derramamento de petróleo, entre outros. Isso permite a reflexão sobre a poluição e seus impactos em situações diversas, conduzindo o aluno a emitir juízos de valor.

No que diz respeito às **competências**, nas questões PISA analisadas, metade delas exige do aluno a competência de *avaliar e planejar experimentos científicos*, proporcionando excelentes reflexões ao solicitar que o aluno analise o esquema fornecido e aponte o problema que os cientistas e engenheiros terão que resolver para produzir gases de escapamentos menos prejudiciais. Mas quando tratamos do ENEM, esses dados são bem diferentes. Das dezoito questões analisadas, doze exigem do aluno apenas *explicar um fenômeno* fazendo uso do conhecimento científico e seis demandam uma análise e *interpretação dos dados* para chegar a conclusões apropriadas, sendo que nenhuma exige que o aluno *avaliar e planeje experimentos científicos*.

No tocante ao **conhecimento**, novamente os números se dividem. Nas questões PISA, duas exigem conhecimento do conteúdo, duas o conhecimento procedimental e duas o conhecimento epistêmico. Já nas questões do ENEM, doze das dezoito questões exigem do aluno apenas o conhecimento do conteúdo para a sua resolução. Todavia, ao observarmos as quatro temáticas analisadas, essa é a que apresenta a maior porcentagem de questões que exigem do estudante um conhecimento para além do conteúdo, ou seja, o conhecimento procedimental.

Na relação entre o contexto e o conhecimento, novamente vamos realizar uma inferência sobre a complexidade e exigência na relação entre eles, conforme apresentamos no quadro 16.

Quadro 93 – Relação entre a competência e o conhecimento exigidos no ENEM - temática Poluição e seus impactos ambientais

Competência	Conhecimento
<i>Explicar fenômenos cientificamente</i>	Conteúdo
<i>Interpretar dados e evidências cientificamente</i>	Procedimental e Epistêmico
<i>Avaliar e planejar experimentos científicos</i>	Procedimental e Epistêmico

Fonte: o próprio autor.

Para essa temática, enquanto a competência *explicar fenômenos cientificamente* requer o conhecimento do conteúdo, as competências *interpretar dados e evidências cientificamente* e *avaliar e planejar experimentos científicos* requerem o conhecimento procedimental e epistêmico.

Sabemos o quanto a humanidade, em geral, sofre com os impactos ambientais causados pelo uso inconsciente de materiais, descarte incorreto de resíduos industriais, emissão de gases poluentes na atmosfera, entre outros problemas que merecem atenção e discussão para que sirvam de alerta pelos impactos que serão sofridos por todos nós.

Nessa perspectiva, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), novo documento que norteia os currículos, define como competência específica para o ensino médio:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (BRASIL, 2018a, p. 553).

Ou seja, os fenômenos naturais devem ser analisados com o intuito de propor ações que minimizem os impactos ambientais, e discutir sobre esses impactos permite ao aluno refletir sobre o seu papel com vistas a contribuir para que eles sejam minimizados.

Quanto à discussão da poluição e dos impactos ambientais nas avaliações, reforçamos a sua importância ao considerar que “[...] somente aquilo que é avaliado, é percebido pelos alunos como realmente importante” (CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2006, p.59).

Nesse sentido, observando a quantidade de questões referentes a essa temática, a prova do ENEM traz uma relevante discussão a esse respeito, o que vem ao encontro do que trouxemos nas temáticas anteriores, ou seja, as questões do ENEM são muito bem contextualizadas, no entanto, são conteudistas. De nada adianta trazer um excelente contexto se não o explorar no sentido de exigir do aluno um conhecimento epistêmico e procedimental. Isto nos leva a refletir sobre como deveria ser o currículo da educação básica para atender a essa demanda de conhecimento.

4.5 SÍNTESE DAS TEMÁTICAS

Uma análise geral das temáticas do ENEM quanto aos parâmetros PISA para o Letramento Científico (Contexto, competência e conhecimento), nos viabiliza chegarmos a algumas considerações, discutidas na sequência.

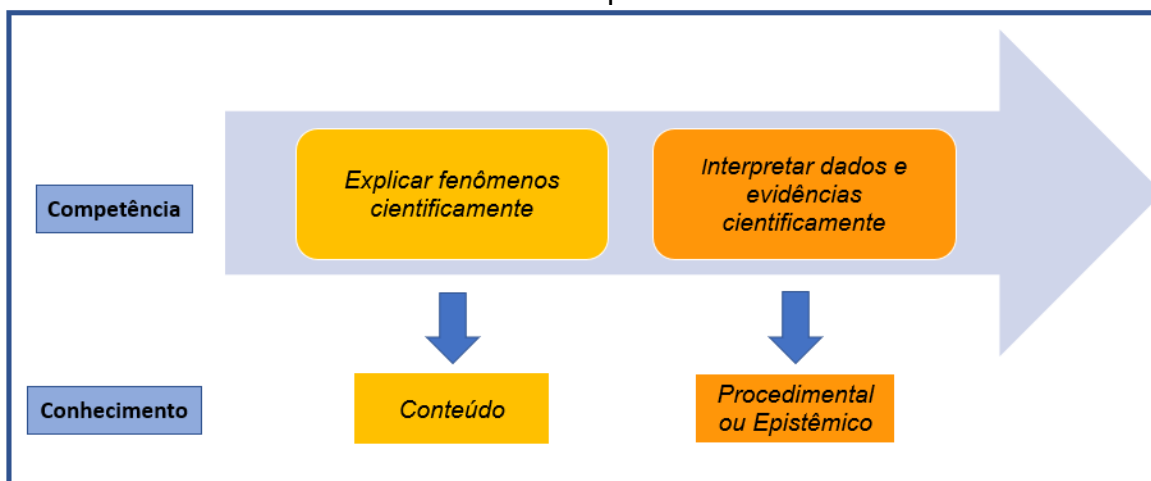
Algo discrepante nas duas provas e que pode implicar em diferentes resultados, corresponde à faixa etária. Enquanto a prova PISA é proposta para alunos de 15 anos, o ENEM é realizado por alunos de diferentes faixas etárias (a partir de 15 anos e sem idade limite), com maior adesão dos jovens de 17 anos que são concluintes do ensino médio, segundo o último relatório publicado pelo INEP correspondente a 2011 e 2012 (INEP, 2015b). Sendo assim, podemos inferir que o conhecimento formal construído pelos alunos brasileiros até o momento da realização da prova, possa ser divergente se comparado aos demais países, já que os nossos estudantes estão na série inicial do ensino médio ao realizá-la.

Em referência ao contexto, as duas provas são bem contextualizadas, tratam de temas interessantes e procuram trazer contextos de interesse global e locais/nacionais. Isto nos permite concluir que possuem contexto adequado ao seu público alvo, orientando os alunos sobre situações que podem implicar em problemas e que são de responsabilidades de todos.

No que diz respeito à competência, sabemos que todas são necessárias para a aprendizagem científica e que nos referenciais teóricos apresentados pela prova PISA, elas não estão organizadas em ordem de complexidade. Mas, ao realizarmos as análises das questões presentes nesse estudo quanto aos contextos para o letramento científico, observando o quadro 6 que trata das competências científicas, podemos perceber que todas as questões que exigem o conhecimento do conteúdo para solucioná-las, tem como competência *explicar fenômenos cientificamente*. Ao passo que as questões que têm por exigência o conhecimento procedimental ou epistêmico, requerem como competência *interpretar os dados cientificamente* ou ainda, raramente, exigem que os estudantes tenham a competência de *avaliar e planejar experimentos científicos*. Por isso, mediante esses apontamentos, podemos organizar o esquema que

apresenta as percepções obtidas nas análises das questões do ENEM em relação às competências e conhecimento:

Figura 106 – Diagrama da relação entre a competência e o conhecimento para o Letramento Científico presente no ENEM



Fonte: o próprio autor.

No diagrama organizado, temos inicialmente, na horizontal, as competências e, logo abaixo, o conhecimento exigido por elas. As competências estão organizadas em ordem crescente de complexidade em relação ao conhecimento exigido, da forma como evidenciamos nas análises das questões do ENEM. Sendo assim, para *explicar fenômenos cientificamente* o aluno necessita do conhecimento do conteúdo, ao passo que para *interpretar dados e evidências cientificamente* o conhecimento procedimental ou epistêmico é exigido.

Quanto à competência *avaliar e planejar experimentos científicos*, ao longo das oitenta e cinco questões analisadas, ela é evidenciada sete vezes nas avaliações do PISA e nenhuma vez nas avaliações do ENEM ao longo dos nove anos analisados, revelando que é pouco explorada e, por isso, não está presente no diagrama. Essa competência implica realizar análises do trabalho científico, avaliando as formas de se explorar cientificamente dada situação e os caminhos utilizados pelos cientistas, que em nosso entendimento é uma competência de maior exigência cognitiva se comparada as anteriormente discutidas.

Entretanto, avaliar as proposições científicas permite ao aluno chegar à conclusão de que o conhecimento científico não é uma verdade pré-

estabelecida e eterna, que há maneiras de contestar as hipóteses criando argumentos válidos sobre a situação analisada, ao observá-la sob diferentes perspectivas. Sendo assim, podemos concluir que essa competência necessária para o Letramento Científico deveria estar presente nas avaliações do ENEM.

Quando tratamos da prova do ENEM na relação entre contexto e competência, podemos identificar um problema: o excelente contexto não é utilizado com a finalidade de formação do aluno crítico, exigindo dele um posicionamento referente a determinada situação. Em poucos momentos requer que o aluno realize uma interpretação em diferentes representações e teça uma conclusão sobre determinado assunto. Na maioria das vezes exige que ele explique determinado fenômeno utilizando o conhecimento científico, e para isso é necessário apenas ter o conhecimento do conteúdo. Em várias questões analisadas podemos perceber que o texto apresentado inicialmente, com o intuito de realizar a contextualização, não é necessário para a resolução das mesmas, ou seja, se o aluno for diretamente à pergunta sem ler o texto que é exposto, ele consegue solucioná-la, já que para isso ele deve ter o conhecimento do conteúdo.

Nesse ponto podemos realizar uma reflexão sobre os resultados dos alunos da escola pública e privada. Temos ciência de que o maior público do ENEM é oriundo de escola pública, contudo as maiores notas nas provas do ENEM raramente são desses alunos, mas dos alunos da rede privada. Isso vai ao encontro do que analisamos acima: os alunos de escola privada obtêm melhores resultados porque têm um ensino apostilado centrado no conteúdo, com ínfima discussão de caráter social e crítico para a formação do aluno. Ou seja, para resolver essa prova e ter êxito nas questões de Química, o essencial é o conhecimento do conteúdo.

Isso nos permite entender o porquê dos péssimos resultados dos estudantes brasileiros na prova PISA, e que colocam o Brasil em uma posição pouco privilegiada no *ranking*: ela exige além do conhecimento do conteúdo. É importante que o aluno tenha o conhecimento de como as ideias são produzidas (conhecimento procedimental) e compreenda o raciocínio e justificativa para o uso dessas ideias (conhecimento epistêmico), o que exige dele uma postura reflexiva sobre cada uma das questões. Por isso podemos concluir que essa prova não é uma avaliação para somente quantificar o que o aluno sabe sobre determinado

conteúdo, mas visa também orientá-lo sobre diversas situações, inclusive as que implicam em problemas que são de responsabilidade de todos e como podemos contê-los.

Após discorrermos sobre as análises das questões do ENEM, e ao refletirmos sobre o nível da escala de proficiência para o Letramento Científico (quadro 4) apresentado no capítulo 2, podemos concluir que predominam as exigências condizentes com o nível 1a, já que demandam conhecimento do conteúdo e procedimental básico, interpretar dados em gráficos e imagens que exigem baixo nível de demanda cognitiva e explicar cientificamente um determinado dado em diferentes contextos. Assim, se o exame que avalia o ensino médio brasileiro, e por isso deve ser condizente com a proposta desse nível educacional, requer dos estudantes baixa exigência cognitiva, é inviável pensar que eles terão êxito em uma avaliação que exige maior proficiência em Ciências, como o PISA. Isso confirma o insucesso dos estudantes brasileiros nessa avaliação.

Com base em todos os resultados obtidos pelos estudantes brasileiros na avaliação do PISA, concluímos que eles se encontram distantes de serem Letrados Cientificamente. Sobre o ENEM, quanto às dimensões analisadas para o Letramento Científico, podemos concluir que a prova utiliza excelentes contextos, mas as competências e conhecimentos são insuficientes para a formação de estudantes Letrados Cientificamente.

Outrossim, entendemos que os objetivos do sistema educacional brasileiro avaliados no ENEM e a formação do professor para atender a essas demandas divergem dos objetivos da avaliação do PISA e da formação do professor condizentes com a mesma, já que a última exige do professor mediar um processo de ensino-aprendizagem, abarcando os diferentes domínios do conhecimento. Além do mais, no Brasil os resultados que essas avaliações fornecem, deveriam servir de base para se repensar a formação inicial e continuada de professores, além das políticas educacionais vigentes em nosso país, o que não acontece.

Diante do exposto, propomos como pesquisas futuras investigar como deve ser o currículo da educação básica na disciplina de Química para que atenda às perspectivas do Letramento Científico, e como deve ser a formação de

professores para atender a essas perspectivas.

Em relação à organização da prova do ENEM, é evidente que ela é extensa e por isso torna-se cansativa, o que acaba por desmotivar o aluno na sua realização, já que a leitura não flui ao tratar de muitos contextos diferentes, ou seja, para responder cada item o aluno tem um contexto que diverge totalmente da questão anterior e, na maioria das vezes, essa contextualização é realizada na forma de longos textos. Sobre a prova do PISA, vários itens são organizados de forma a pertencer a um mesmo contexto e, por isso, se relacionam, permitindo uma leitura e interpretação dinâmicas. Temas relevantes são escolhidos e os itens são organizados baseados em diferentes representações (texto, imagem, gráfico, esquema, etc.), com vários deles tratando do mesmo tema, o que leva a um engajamento melhor do aluno e nos permite concluir que se torna menos exaustivo para ele.

Outra reflexão importante surgiu ao ler o artigo de Maceno *et al.* 2011, no qual os autores apresentam uma crítica quanto à listagem dos conteúdos de Química apresentados na matriz de referência no ano de 2009, já que contradiz o que propõe os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio para a área de *Ciências da Natureza e também com as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)*. Segundo os autores:

Há a divergência entre o que defende a Matriz de Referência do ENEM 2009 (Brasil, 2009a), na área de *Ciências da Natureza e Suas Tecnologias*, as demais orientações curriculares nacionais e essa lista de conteúdos apresentada nos *objetos de conhecimento* (MACENO *et al.*, 2011, p. 156).

[...]

A partir da análise da Matriz do ENEM 2009, é possível concluir que seus anexos contradizem os propósitos da nova proposta desse exame. Pode-se inferir que, a partir do momento em que autores diferentes escreveram esse documento oficial, houve desacerto ao listar os conteúdos, exatamente como os vestibulares tradicionalmente sempre propuseram, reintroduzindo, inclusive, conteúdos que os programas destes já não exigiam mais. Logo, o ENEM tem o potencial de induzir o rompimento com os exames de seleção focados na memorização ou nos conteúdos desarticulados dos contextos e problemas reais. Entretanto, defende-se que tais orientações devem ter uma unidade comum e clareza no que se sugere, pois podem tolher qualquer possibilidade de perspectivas melhores para a educação básica (MACENO *et al.*, 2011, p. 158).

Ao ler esse artigo em meados de dezembro do ano de dois mil e vinte, navegamos pelo *site* do INEP, mais precisamente no arquivo que traz a matriz de referência do ENEM, e encontramos os mesmos conteúdos listados no ano de 2009 e que, segundo os autores citados, contradizem os documentos oficiais e a proposta do ENEM. Isso mostra a urgente necessidade de reformulação não só desses documentos, mas também das questões que priorizam o conhecimento do conteúdo e mantêm distância do conhecimento epistêmico.

Em síntese, o PISA traz excelente contextualização e exige a aplicação do conhecimento em situações problemáticas, o raciocínio científico baseado na natureza do conhecimento e, por vezes, exige que o candidato resolva o problema de acordo com as atitudes de um cientista em uma investigação científica. Já o Enem exige memorização e compreensão, raramente aplicação. Sendo assim, a sua organização e objetivos devem ser repensadas, já que o domínio do conteúdo e a aplicação do conhecimento científico não é uma exigência suficiente para a resolução dos problemas e tomada de decisões que nós, cidadãos responsáveis e conscientes, temos que realizar diariamente.

Sobre a memorização dos conceitos para serem repetidos posteriormente, os PCNEM destacam:

[...] é pobre a avaliação que se constitua em cobrança da repetição do que foi ensinado, pois deveria apresentar situações em que os alunos utilizem e vejam que realmente podem utilizar os conhecimentos, valores e habilidades que desenvolveram (BRASIL, 2000, p.51).

Oposto a isso, “devem ser privilegiadas questões que exigem reflexão, análise ou solução de um problema, ou a aplicação de um conceito aprendido em uma nova situação” (BRASIL, 2002, p.137).

Sendo assim, as disciplinas científicas na educação básica deveriam ser organizadas pensando nas dimensões do Letramento Científico, que atendessem as competências e conhecimentos propostos por ela, permitindo a formação de alunos letrados cientificamente e, como consequência, os nossos estudantes teriam sucesso nas avaliações, de modo que *“para que a educação seja prioridade em relação aos resultados, é importante que haja sintonia entre os*

objetivos do PISA, os ensinamentos acadêmico-científicos e as políticas públicas nacionais e internacionais” (VIEIRA, 2017, p.480). Quando os objetivos da educação científica no Brasil mudarem, teremos uma educação com a qualidade necessária para atender às demandas na formação de um cidadão crítico-reflexivo, e ter o nosso país no topo desse *ranking* mundial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao dar início a essa pesquisa havíamos definido vários objetivos que foram descartados ao nos deparar com o *corpus* de análise, já que os enunciados das questões não eram suficientes para solucioná-los. Por exemplo, a análise das questões quanto a dimensão da atitude não foi possível, já que não possuíamos informações suficientes para interpretar as atitudes que a ciência desperta no indivíduo, sendo, para isso, necessário ter o acesso a outras informações. As implicações para o currículo da disciplina de Química, para que atenda às perspectivas do Letramento Científico e como deve ser a formação de professores para atender às perspectivas também foram objetivos descartados.

Após esses empasses, restringimos o nosso objetivo em identificar quais dimensões para o Letramento Científico que fundamentam o PISA são contempladas nas questões de Química do ENEM e como elas estão organizadas. Para isso, construímos um quadro analítico com base no referencial PISA para o Letramento Científico e utilizamos para interpretar as questões do ENEM no período de 2012 a 2020 e as questões do PISA disponíveis.

No exercício de realizar a análise do conteúdo (BARDIN, 2011) das questões, identificamos quatro grandes grupos temáticos recorrentes em ambas as avaliações: Grupo 1 – gás carbônico ou dióxido de carbono; grupo 2 – água; grupo 3 – fontes de energia; grupo 4 – poluição e seus impactos ambientais.

Conseguimos investigar com êxito acerca das três dimensões para o Letramento Científico que propusemos para as questões do ENEM e ainda para os itens do PISA liberados com conteúdo de Química com o intuito de estabelecer um comparativo entre elas.

Diante desse exercício de análise evidenciamos que o ENEM possui excelentes discussões em termos de contextualização, mas que são insignificativas quando exigem do aluno o conhecimento do conteúdo memorizado para a solução das questões. Além do mais, lembrar e aplicar um conhecimento científico é uma exigência insuficiente para avaliar o aluno quanto a sua formação para o exercício da cidadania consciente e responsável ao concluir a importante etapa da educação básica.

Assim, assumimos que as dimensões para o Letramento Científico presentes nas questões do ENEM são exíguas para a formação de um aluno crítico e reflexivo ao considerarmos que, por vezes, o processo de ensino e aprendizagem é direcionado para o êxito no ENEM durante o Ensino Médio e que, por isso, as escolhas do professor sobre a condução de suas aulas dependem dessas exigências. Sendo assim, se o exame exige o conhecimento do conteúdo, o professor irá limitar suas aulas na transmissão desse de forma que o aluno seja capaz de memoriza-lo e reproduzi-lo em todas as situações nas quais ele seja exigido. Esse é um ponto a ser destacado. Se todo o processo de ensino e aprendizagem se baseia no êxito do exame, questões bem estruturadas em relação as exigências cognitivas implicariam em ações diferenciadas por parte dos responsáveis diretos do processo de ensino, concentrando esforços para dar condições ao aluno de solucionar esse item e refletir sobre diferentes situações cotidianas de forma responsável.

Quanto ao PISA, ele considera a natureza do conhecimento científico com a sua epistemologia: conferir evidências, levantar hipóteses, testar hipóteses, avaliar procedimentos de pesquisa, analisar resultados e tirar conclusões. Essas exigências levam ao pensamento crítico, investigativo e reflexivo para a construção de juízo de valores e tomadas de decisões para a vida, contribuindo para o Letramento Científico e a formação cidadã.

Outrossim, entendemos que os objetivos do sistema educacional brasileiro avaliados no ENEM e a formação do professor para atender a essas demandas, divergem dos objetivos da avaliação do PISA e da formação do professor condizentes com a mesma, já que a última exige do professor mediar um processo de ensino-aprendizagem, abarcando os diferentes domínios do conhecimento. Além do mais, no Brasil, os resultados que essas avaliações fornecem, deveriam servir de base para se repensar a formação inicial e continuada de professores, além das políticas educacionais vigentes em nosso país, o que não acontece.

Diante do exposto, propomos como pesquisas futuras, investigar como deve ser o currículo da educação básica na disciplina de Química para que atenda às perspectivas do Letramento Científico e como deve ser a formação de

professores para atender a essas perspectivas.

Por fim, quando os objetivos da educação científica no Brasil mudarem, teremos uma educação com a qualidade necessária para atender às demandas na formação de um cidadão crítico-reflexivo e ter o nosso país no topo desse *ranking* mundial.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, G. G. A metodologia do ENEM: uma reflexão. **Série-Estudos – Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB**. Campo Grande, n. 33, p. 67-76, jan./jul. 2012.

AMARO, I. **Avaliação externa da escola**: repercussões, tensões e possibilidades. **Est. Aval. Educ.** São Paulo, v. 24, n. 54, p. 32-55, jan./abr. 2013.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARLOW, M. **Avaliação escolar**: mitos e realidade. Trad. Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2006.

BECKER, F. R. Avaliação educacional em larga escala: a experiência brasileira. **Revista Iberoamericana de Educación/Revista Ibero-americana de Educação**, v. 53, n. 1, 2010. Disponível em: <http://www.rieoei.org/deloslectores/3684Becker.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**, Resolução CEB n.3 de 26 de junho de 1998

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio. Brasília: MEC. Versão entregue ao CNE em 03 de abril de 2018a. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site.pdf. Acesso em: 04 jun. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 9432/2018**. Regulamenta a Política Nacional de Avaliação e Exames da Educação Básica. Brasília, DF, 2018b.

BRASIL. Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). **Provas e gabaritos**. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos> . Acesso em: 06 maio 2017.

BRASIL, MEC/INEP. Textos Teóricos e Metodológicos ENEM 2009.

BRASIL, Ministério da Educação (MEC). **Brasil no PISA 2015**: análises e reflexões sobre o desempenho dos estudantes brasileiros / OCDE-Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. — São Paulo: Fundação Santillana, 2016.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica (SEB), Departamento de Políticas de Ensino Médio. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEB, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 2000.

BRASIL. Secretaria do Ensino Médio e Tecnológico. **PCN+**: ensino médio – orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC/SEMTEC, 2002.

BROIETTI, F. C. D. **O ENEM, o vestibular e o ensino de química**: o caso da Universidade Estadual de Londrina. 2013, 369f. Tese (Doutorado em Educação para Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

BROIETTI, F. C. D.; MENEGHELLO PASSOS, M. Processos avaliativos em larga escala e suas implicações para o ensino de química. **Ensino & Pesquisa**, Apucarana, v.15, n. 4, p. 121- 147, 2017.

BROIETTI, F. C. D.; SANTIN FILHO, O.; PASSOS, M. M. Mapeamento da produção científica brasileira a respeito do Enem (1998-2011). **Rev. Diálogo Educ.**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 233-260, jan./abr. 2014

CARVALHO, A. M. P. de; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de ciências**. 8. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2006.

CASTRO, M. H. G. A consolidação da política de avaliação da educação básica no Brasil. **Meta: Avaliação**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p.271-296, set./dez. 2009

DÍAZ BARRIGA, A. **Las pruebas massivas**. Análisis de sus diferencias técnicas. **RMIE**, vol. 11, n. 29, abril-junio 2006, pp. 583-615

DUSCHL, R. A. **Science education in 3 part harmony**: balancing conceptual, epistemic and social goals. *Review of Research in Education*, n. 32, 268–291, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.3102/0091732X07309371>. Acesso em: 18 out. 2021.

ENEM 2012 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 06 maio 2017

ENEM 2013 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 06 maio 2017

ENEM 2014 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 06 maio 2017

em: 06 maio 2017

ENEM 2015 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 06 maio 2017

ENEM 2016 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 06 maio 2017

ENEM 2017 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 06 maio 2017

ENEM 2018 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 15 set. 21

ENEM 2019a – Exame Nacional do Ensino Médio – Aplicação regular. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 15 set. 21

ENEM 2019b – Exame Nacional do Ensino Médio – Reaplicação. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 15 set. 21

ENEM 2020a – Exame Nacional do Ensino Médio – Aplicação digital. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 15 set. 21

ENEM 2020b – Exame Nacional do Ensino Médio – Aplicação regular. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Caderno azul. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 15 set. 21

EUROPEAN COMMISSION. **Teaching and learning**: towards the learning society, White Paper on Education and Training, Office for Official Publications in European Countries, Luxembourg, 1995. Disponível em: http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com95_590_en.pdf. Acesso em: 10 maio 2018

FERNANDES, C. S.; MARQUES, C. A. O Exame Nacional do Ensino Médio enquanto política pública de avaliação educacional. *In*: CASSIANI, S.; SILVA, H.C. da (Org.); PIERSON, A. (Org.). **Olhares para o ENEM na educação científica e tecnológica**. 2. ed. Araraquara: Junqueira & Marin, 2013. v. 1.

FERNANDES, C. de O.; NAZARETH, H. D. G. de. Resultados de pesquisas sobre as políticas de avaliação em larga escala em educação e seus impactos na escola. **Revista Educação Especial**, Santa Maria, v. 31, n. 63, p. 893-906, out./dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1984686X32906>. Acesso em: 10 set. 21.

FERNANDES, D. Avaliações externas e aprendizagens dos alunos: uma reflexão crítica. Dossiê - Currículo e Avaliação da Aprendizagem. **Linhas Críticas**, Brasília, v.25 - Ahead of print, p.644-660, jan./dez 2019.

FERREIRA, S. D. **Análise das questões do ENEM da área de Ciências Naturais pelo enfoque CTS**. 2011, 181f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

FREITAS, Luiz Carlos de et al. **Avaliação educacional: caminhando pela contramão**. Petrópolis: Vozes, 2009.

GATTI, B. A. Avaliação de sistemas educacionais no Brasil. **Revista de Ciências da Educação**, Lisboa, nº 09, maio/agosto, 2009.

HADJI, C. **A avaliação, regras do jogo: das intenções aos instrumentos**. Portugal: Porto, 1994.

INEP. **Brasil no PISA 2015: Análises e reflexões sobre o desempenho dos estudantes brasileiros**. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/pisa/historico> . Acesso em: 15 nov. 2020.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Matriz de Referência ENEM**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/downloads/2012/matriz_referencia_enem.pdf>. Acessado em: 21 set 2020.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira. Saeb – 30 anos. 2020. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/educacao-basica/saeb>. Acesso em: 4 set. 2021.

INEP. Programa da OCDE para Avaliação Internacional de Alunos - PISA. **Itens liberados de ciências**. [20 --]. Disponível em: http://download.inep.gov.br/download/internacional/pisa/Itens_liberados_Ciencias.pdf. Acesso em: 25 maio 2017.

INEP. PISA 2015 - **Programa Internacional de Avaliação de Estudantes**: exemplos de itens liberados de Ciências. 2015a. Disponível em: http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/itens/2015/itens_liberados_ciencias_pisa_2015.pdf. Acesso em: 25 maio 2017.

INEP. Portal Inep, 2019. Pisa 2018 revela baixo desempenho escolar em leitura, matemática e ciências no Brasil. Disponível em: http://portal.inep.gov.br/artigo/-/asset_publisher/B4AQV9zFY7Bv/content/pisa-2018-revela-baixo-desempenho-escolar-em-leitura-matematica-e-ciencias-no-brasil/21206. Acesso em: 25 set. 21.

INEP. **Relatório Brasil no PISA 2018 versão preliminar**. 2019. Disponível em: http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/documentos/2019/relatorio_PISA_2018_preliminar.pdf. Acesso em: 22 julho 2020

INEP. **Relatório Brasil no PISA 2018**. 2020. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/avaliacoes_e_examens_da_educacao_basica/relatorio_brasil_no_pisa_2018.pdf . Acesso em: 11 set. 21.

INEP. **Relatório pedagógico ENEM 2011 e 2012. 2015b**. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/documents/186968/484421/Relat%C3%B3rio+Pedag%C3%B3gico+Enem+2011-2012/b29257e3-2a6c-44a3-992a-02130c379ba9?version=1.2>. Acesso em: 21 de julho de 2020.

IVO, A. A.; HYPOLITO, A. M. Sistemas de avaliação em larga escala e repercussões em diferentes contextos escolares: limites da padronização gerencialista. **RBPAE** [online], Brasília, v.33, n. 3, p. 791-809, set./dez. 2017.

KELLY, G. J. (2008). Inquiry, activity, and epistemic practice. In: R. Duschl & R. Grandy (Eds.) **Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation**. Pennsylvania. Sense Publishers. 2008, p. 99-117.

KELLY, G. J.; LICONA, P. (2018). Epistemic practices and science education. In: M.R Matthews (Ed.), **History, philosophy and science teaching**. Pennsylvania: Springer, 2017, p. 139-165.

LOCCO, A. L. **Políticas públicas de avaliação**: o Enem e a escola de ensino médio. 2005. 141f. Tese (Doutorado em Educação: Currículo) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2005.

LOPES, A.C.; LÓPEZ, S. B. A performatividade nas políticas de currículo: o caso do ENEM. **Educação em revista**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 89-110, 2010.

MACENO, N. G.; RITTER-PEREIRA, J.; MALDANER, O. A.; GUIMARÃES, O. A. A matriz de referência do ENEM 2009 e o desafio de recriar o currículo de química na educação básica. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n.3, p. 153-159, ago, 2011.

MEDEIROS, L.; JALOTO, A., SANTOS, A. V. F. A área de ciências nas avaliações internacionais de larga escala. **Estudos em Avaliação Educacional**. São Paulo, v. 28, n. 68, p. 512-537, maio/ago. 2017.

NASCIMENTO, A. E. S.; CARVALHO, C. E. G.; ARAÚJO, A. F.; MACHADO, L. J.; SOBRINHO, E. S. C.; SILVA, K. L. Biodiesel como tema para o processo de ensino aprendizagem com base na metodologia da problematização: In: ENEQ – ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (XVIII), 2016, Florianópolis. Anais... SC, 2016

NASCIMENTO, J. E. A.; ARAÚJO, M. L. F. A dimensão ambiental da temática água no exame nacional do ensino médio. **Rev. Eletrônica Mestr. Educ. Ambient.**, Rio Grande, v. 34, n.1, p. 148-167, jan./abr., 2017.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **PISA 2006 estrutura da avaliação**: conhecimentos e habilidades em ciências, leitura e matemática. São Paulo: Moderna, 2007. Disponível em: <<http://www.oecd-library.org/docserver/download/980603ue.pdf?expires=1459286233&id=id&accname=guest&checksum=2B57A9441D516E75859483E73545C2B1>>. Acesso em: 17 out. 2021.

OCDE (2019). **PISA 2018 Assessment and Analytical Framework**. Paris: OECD Publishing. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>. Acesso em: 05 janeiro 2020.

OECD (2016a). **PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy**. Paris: OECD Publishing. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2015-assessment-and-analytical-framework_9789264281820-en#page27. Acesso em: 14 julho 2017

OECD (2016b). **Programme for international student assessment (PISA) results from PISA 2015**. Resumo de resultados nacionais do PISA 2015 (Brasil). Paris: OECD Publishing. Disponível em: <https://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Brazil-PRT.pdf>. Acesso em: 05 janeiro 2018.

OECD. **Matriz de avaliação de ciências**. Tradução do documento: PISA 2015 Draft Science Framework, 2013. Traduzido por Lenice Medeiros – Daeb/Inep. Disponível em: http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/marcos_referenciais/2015/matriz_de_ciencias_PISA_2015.pdf Acesso em: 04 março 2019.

PIERSON, A. H.; TOTI, F. A.; DIOGO, R. C.; QUINATO, G. A abordagem CTS para o ensino de ciência e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM): um estudo a partir de questões que tratam de energia e recursos energéticos. In: CASSIANI, S.; SILVA, H.C. da (Org.); PIERSON, A. (Org.). **Olhares para o ENEM na educação científica e tecnológica**. 2. ed. Araraquara: Junqueira & Marin, 2013. v. 1.

PURCELL, B. M. (2014). Use of formative classroom assessment techniques in a project management course. **Journal of Case Studies in Accreditation and Assessment**. Pennsylvania, n. 3, p. 1-6, 2014.

ROCHA, A. A. Um estudo sobre o Enem e o currículo de geografia no ensino médio. **Giramundo**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 21-32, 2014.

SACRISTÁN, J. G. A avaliação no ensino. In: SACRISTÁN, J. G.; GÓMEZ, A. I. P. **Compreender e transformar o ensino**. 4. ed. Porto Alegre: Artemed, 1998, p.295-351.

SANMARTÍ, Neus. **Avaliar para aprender**. Porto Alegre: Artmed, 2009

SANTIAGO, M. C.; SANTOS, M. P. dos; MELO, S. C. de. Inclusão em educação: processos de avaliação em questão. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas Educacionais**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 96, p. 632-651, jul./set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0104-40362017002500652> . Acesso em: 10 set. 21.

SANTOS, J. M. C. T. Exame Nacional do Ensino Médio: entre a regulação da qualidade do ensino médio e o vestibular. **Educar em revista**, Curitiba, n. 40, p. 195-205, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SIQUEIRA, R. M.; SANTOS, H. R. Perspectivas curriculares a partir do ENEM e da BNCC: uma análise por meio de questões de química do ENEM dos anos 2018 e 2019. **ACTIO**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 1-25, mai./ago. 2021.

SOARES, M. **Letramento**: um tema em três gêneros, Belo Horizonte: Autêntica, 1998.

STANDLER, J. P.; HUSSEIN, F. R. G. S. O perfil das questões de ciências naturais do novo Enem: interdisciplinaridade ou contextualização? **Ciênc. Educ., Bauru**, v. 23, n. 2, p. 391-402, 2017.

TENREIRO VIEIRA, C.; VIEIRA, R. M. Literacia e pensamento crítico: um referencial para a educação em ciências e em matemática. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 52, p. 163-188, 2013.

TORRALBO, D. **O tema água no ensino**: a visão de pesquisadores e de professores de Química. 2009. 141f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TOZONI-REIS, M. F. C. **Metodologia da pesquisa**. 2 ed. Curitiba: IESDE Brasil

S.A., 2009.

UNESCO. **Declaração mundial sobre educação para todos: satisfação das necessidades básicas de aprendizagem.** Jomtien, 1990. ED/90/CONF/205/1, 1998.

VACHESKI, G. M. O. Atividades sob a perspectiva CTS na formação inicial de professores de química: implicações para o desenvolvimento profissional docente. 2016. 204f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

VIANNA, H. M. Avaliações nacionais em larga escala: análises e propostas. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, n. 27, p. 41-76, jan./jun. 2003a. Disponível em: <https://doi.org/10.18222/eae02720032177> . Acesso em: 11 set. 21.

VIANNA, H. M. Fundamentos de um programa de avaliação educacional. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, n. 28, p. 23-38, jul./dez. 2003b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18222/eae02820032168> . Acesso em: 10 set. 21

VIEIRA, A. M. **Acordes e dissonâncias do letramento científico proposto pelo PISA 2015.** *Est. Aval. Educ.*, São Paulo, v. 28, n. 68, p. 478-510, maio/ago. 2017

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. **Ciência & Ensino**, Piracicaba, vol. 1, número especial, novembro de 2007

APÊNDICES

APÊNDICE A: Questões do ENEM codificadas com seus respectivos temas, descrição e ano

Questão	Tema	Descrição	Ano
E1	Biopesticidas	Funções orgânicas presentes nos biopesticidas	2012
E2	Ozônio	Gases que compõem o desodorante aerossol (que não seja CFC) / ozônio	2012
E3	Própolis	Reações orgânicas (reagentes que deram origem a um dos compostos presentes na própolis)	2012
E4	Aquecimento global	Emissão de CO ₂	2012
E5	Massa do pão	Crescimento da massa do pão graças a reação química com emissão de CO ₂	2012
E6	Benzeno	Reação orgânica	2012
E7	Odor do peixe	Substância inorgânicas que seriam capazes de neutralizar o odor característico do peixe com base no valor da Concentração de H ⁺	2012
E8	Acidente ambiental	Reação dos hidrocarbonetos	2012
E9	Matriz energética	Implantação de uma matriz energética com menor impacto e riscos ambientais	2012
E10	Emissão de poluentes	Tratamento de resíduos para evitar a emissão de poluentes no descarte do PVC	2012
E11	Vitaminas	Solubilidade das vitaminas/polaridade	2012
E12	Reciclagem do alumínio	Reciclagem do alumínio e as reações de oxidação/potenciais de redução	2012
E13	Radioatividade	Esterilização de um material por irradiação	2012
E14	Osmose	Imersão de célula humana em solução concentrada	2012
E15	Aspartame	Calculo da quantidade máxima permitida de consumo diário do aspartame	2012
E16	Músculos	Reações de oxidação e redução	2013

	artificiais		
E17	Alimentação saudável/ingestão de cálcio	Cálculo da quantidade suficiente de átomos de cálcio a ser ingerida	2013
E18	Radioatividade na medicina	Tempo de meia vida (exames de tomografia utilizando glicose marcada com C-11)	2013
E19	Química verde	Poluição do ar causada por usinas	2013
E20	Reciclagem do PET	Reciclagem do PET para a produção do etilenoglicol	2013
E21	Pressão atmosférica	Escoamento de água em uma garrafa Pet aberta e fechada	2013
E22	Citral	Isomeria cis/trans da molécula	2013
E23	Água	Desinfecção da água com gás cloro (pH)	2013
E24	Herbicida	Reação orgânica / herbicida glifosato	2013
E25	Drenagem ácida de minas	Pirita	2013
E26	Anticoagulante	Calculo do volume de coagulante que pode ser administrado em um adulto	2013
E27	Pilha	Eletrólise	2013
E28	Aço	Massa de CO ₂ liberada na produção do aço	2013
E29	Água	Tratamento da água com sulfato de alumínio	2013
E30	Fraldas	Interações moleculares entre os componentes das fraldas e a água	2013
E31	Nanoputians	Classificação dos átomos de carbono	2013
E32	Ozônio	Destruição da camada de ozônio pelos CFCs	2014
E33	Água	Tratamento da água	2014
E34	Talidomida	Isomeria (enantiomeros)	2014
E35	Biodiesel	Resistência do biodiesel a oxidação	2014
E36	Diesel/ chuva ácida	Porcentagem de liberação de enxofre liberado durante a queima do diesel	2014
E37	Sabão	Solubilidade / polaridade	2014
E38	Revelação de chapas de raio X	Recuperação da prata no resíduo da revelação das chapas de raio X / eletroquímica	2014
E39	Usinas nucleares	Poluição térmica pela diminuição da solubilidade de oxigênio nos rios	2014
E40	Tratamento de	Tratamento do resíduo para ajustar	2014

	resíduos	o pH e minimizar os impactos ambientais	
E41	CO ₂	Absorção de CO ₂ pelos mares e a influência desse processo nos corais	2014
E42	Enzimas	Enzimas e o pH delas presentes no estômago e no intestino	2014
E43	Cadeias carbônicas	Classificação das cadeias carbônicas	2014
E44	Plásticos	Composição dos plásticos ecológicos	2014
E45	Fenol e Acetona	Síntese e processo de separação da mistura	2014
E46	Tratamento de resíduos	Biorremediação de resíduos de naftaleno	2014
E47	Neutralização	Reação de neutralização entre o vinagre e a amina presente no peixe para eliminar o odor das mãos	2014
E48	SO ₂ / chuva ácida	Reação de dessulfurização para evitar a emissão do SO ₂ na atmosfera e a formação da chuva ácida	2014
E49	Hipóxia	Alteração da concentração da hemoglobina oxigenada no sangue devido à altitude (equilíbrio químico)	2015
E50	Tratamento de resíduos / petróleo	Método de retirada do petróleo da água utilizando um líquido de castanha de caju / método de separação de misturas	2015
E51	Soda caustica	Absorção da umidade presente no ar pela soda caustica quando exposta ao ar	2015
E52	Hidroponia	Concentração e volume das soluções	2015
E53	Latas de conserva	Latas amassadas e as reações de oxidação entre os metais	2015
E54	Abelhas	Funções orgânicas presentes nos feromônios	2015
E55	Permanganato de potássio	Reação orgânica de oxidação de alcenos a partir do permanganato	2015
E56	Experimento	Reação de neutralização entre o bicarbonato de sódio e o oxido ácido formado na queima de um palito de fósforo	2015

E57	Tratamento de resíduos	Tratamento de resíduos ácidos gerados pela indústria / Reação de neutralização / equilíbrio químico	2015
E58	Bomba	Radioatividade / reação de fissão nuclear	2015
E59	Galvanização	Rendimento de reações	2015
E60	Hidrocarbonetos	Reação de síntese de hidrocarbonetos a partir óleos vegetais	2015
E61	Motores	Sistema de refrigeração de motores (fluido arrefecedor)	2015
E62	Pesticidas	Pesticidas organoclorados e o acúmulo nos tecidos dos peixes	2015
E63	Calda bordalesa	Reação de oxidação / pilhas	2015
E64	Bio-óleo	Queima de bio-óleo para a produção de energia / entalpia	2015
E65	Química verde	Rotas de síntese de ácido adípico	2015
E66	Spray de pimenta	Solubilidade em água	2016
E67	Biodigestor	Produção de metano a partir das fezes dos animais em um parque	2016
E68	Benzeno	Variação de entalpia no processo de formação do benzeno	2016
E69	Morte por ingestão de sulfato de bário	Solubilidade	2016
E70	Feromônio	Estereoisômeros	2016
E71	Milho	Produção do etanol a partir do milho	2016
E72	Rendimento	Rendimento de uma reação química	2016
E73	Carvão ativado	Adsorção do benzeno / ligação química	2016
E74	Biocélulas combustíveis	Diferença de potencial/pilhas	2016
E75	Matéria	Estados físicos da matéria	2016
E76	Etanol	Produção de etanol e vinhaça	2016
E77	Datação de fósseis	Datação de fósseis C-14	2016
E78	Sauna	Processo de separação	2016
E79	Reação orgânica	Reação de substituição	2016
E80	Tratamento de resíduos	Queima do pneu gera gases que produzem chuva ácida, mas que podem deixar de escapar para a atmosfera quando borbulhados em uma solução adequada	2016
E81	Lipofilia	Produção de fármacos/polaridade	2016

E82	Experimento	Condutividade térmica	2016
E83	Tensoativos	Polaridade	2016
E84	Irradiação do micro-ondas	Taxa de aquecimento de solventes orgânicos (interpretação de gráfico e estrutura orgânica)	2016
E85	Nanotubos de carbono	Absorção de energia luminosa	2017
E86	Eletrolise	Eletrólise do cloreto de sódio	2017
E87	Arroz	Teste de chama/ liberação de fótons pelo sódio	2017
E88	Núcleos de condensação	Ligação química	2017
E89	Datação de fósseis	Datação de fósseis C-14 / tempo de meia vida	2017
E90	Energia	Geração de eletricidade por energia eólica e biogás	2017
E91	Óleos essenciais	Óleos essenciais e a volatilização	2017
E92	Farinha de linhaça	Processo de separação	2017
E93	Biodiesel	Função orgânica presente	2017
E94	Centrifugas	Método de separação	2017
E95	Extração de lapachol	Extração de produtos naturais a partir de plantas / equilíbrio ácido-base e hidrolise	2017
E96	Osmose	Osmose reversa para obtenção de água potável a partir da água do mar	2017
E97	LED	Pilhas	2017
E98	AAS	Produção de AAS (concentração em massa)	2017
E99	Ferro	Produção do ferro e o cálculo da variação da entalpia	2017
E100	Gases inertes	Composição do ar	2017
E101	Cromatografia	Interações intermoleculares	2017
E102	Conservação de alimentos	Salgamento (osmose)	2017
E103	Ozonólise	Síntese de aldeídos e cetonas	2017
E104	Nanodispositivos	Movimento molecular pela incidência da luz	2018
E105	Carro flex	Densidade/ massa/ energia da gasolina e etanol	2018
E106	Pilha	Pilha antiga	2018
E107	Densímetro	Densidade	2018
E108	Pigmentos	Decomposição fotoquímica	2018
E109	Elementos químicos	Importância tecnológica do Nióbio e do tântalo	2018

E110	Reação orgânica	Reações orgânicas	2018
E111	Oxidação da glicose	Oxidação da glicose e o cálculo de energia que ela fornece para os músculos	2018
E112	Células solares	Células solares	2018
E113	Ligações	Energia de ligação / distância interatômica	2018
E114	Solo	Remediação do solo	2018
E115	Petróleo	Craqueamento do petróleo	2018
E116	Tensoativos	Tensoativo artificial persistente no ambiente causando danos	2018
E117	Grafeno	Forma alotrópica do carbono / hibridação do carbono	2018
E118	Abelhas	Sinalizador químico produzido por elas	2018
E119	Esgoto	Reações de oxirredução	2019
E120	Glicólise	Entalpia das reações	2019
E121	Café	Resíduos gerados no beneficiamento do café	2019
E122	Biochip	Reações que ocorrem para identificar diabetes	2019
E123	Fármacos	Resíduos de fármacos nos recursos hídricos	2019
E124	Teste de chama	Emissão de radiação eletromagnética	2019
E125	Gases nobres	Regra do Octeto	2019
E126	Petróleo	Hidrocarbonetos	2019
E127	Espectrômetro de massa	Massa do íon	2019
E128	Concreto	Impactos ambientais gerados em seu uso	2019
E129	Membrana celular	Interação dos fosfolipídios	2019
E130	Água	Experimento de calorimetria	2019
E131	Bateria Zinco-ar	Geração de energia elétrica	2019
E132	Corantes naturais	Cadeias carbônicas	2019
E133	Sabonete	Reações químicas	2019
E134	Poluição radioativa	Acúmulo do estrôncio-90 em cadeias alimentares	2019
E135	Reciclagem do PET	Reação orgânica	2019
E136	Teoria atômica	Postulados de Dalton	2019
E137	Polpa de frutas	Concentração de ácido cítrico	2019
E138	Cozimento de batatas	Difusão	2019

E139	Experimento – capilaridade	Capilaridade	2019
E140	Moedas de cobre	Oxidação do cobre	2019 - Reaplicação
E141	Extração do petróleo	Separação da mistura	2019 – Reaplicação
E142	Ácido ricinoleico	Polarização	2019 – Reaplicação
E143	Fenol antioxidante	Fórmula estrutural	2019 - Reaplicação
E144	“quatro elementos”	“quatro elementos” descritos por Platão	2019 – Reaplicação
E145	Vinagre	Determinação da % de ácido acético	2019 – Reaplicação
E146	Nanopartículas de antibióticos	Ligação entre nanopartículas e lipopolissacarídeo	2019 - Reaplicação
E147	Dessalinização da água do mar	Osmose reversa	2019 – Reaplicação
E148	Leite	Teste para detectar concentração de sacarose	2019 – Reaplicação
E149	Mármore	Deterioração do mármore em ambiente externo	2019 – Reaplicação
E150	Processo biotecnológico	Oxidação do açúcar em ácido lático	2019 – Reaplicação
E151	Atividade experimental	Simulação do suco gástrico no estômago	2019 – Reaplicação
E152	Calagem do solo	pH do solo	2019 – Reaplicação
E153	Matriz energética	Fonte de energia renovável	2019 – Reaplicação
E154	Resíduos	Descarte de resíduos de laboratório	2019 – Reaplicação
E155	Larvicida para <i>Aedes aegypti</i>	Concentração da solução	2019 – Reaplicação
E156	Fogueiras para aquecimento	Produção de monóxido de carbono	2019 – Reaplicação
E157	Pirita	Produção de ácido sulfúrico	2019 – Reaplicação
E158	Etanol	Energia para mover um carro	2019 – Reaplicação
E159	Hidrogênio	Varição de entalpia da combustão	2019 – Reaplicação
E160	Identificação de substâncias	Solubilidade e inflamabilidade	2019 – Reaplicação
E161	Reciclagem de pilhas	Separação de misturas	2020 – Digital

E162	Feromônio	Isomeria	2020 Digital	–
E163	Dióxido de carbono	Limite de emissão de CO ₂ pelos carros	2020 Digital	–
E164	Condutibilidade térmica	Diferença de condutibilidade térmica dos materiais	2020 Digital	–
E165	Reflorestamento	Correção do pH do solo	2020 Digital	–
E166	Termômetros	Funcionamento do termômetro de mercúrio	2020 Digital	–
E167	Plásticos	Reciclagem dos plásticos	2020 Digital	–
E168	Adulteração do Leite	Indicador de pH	2020 Digital	–
E169	Ferro	Reação de absorção pelo organismo	2020 Digital	–
E170	Óxido de silício	Gráfico de uma substância pura	2020 Digital	–
E171	Prata	Restauração de objetos de prata	2020 Digital	–
E172	Detecção de sangue	Reação com indicador	2020 Digital	–
E173	Refrigerantes	Caráter ácido	2020 Digital	–
E174	Ampola de raios catódicos	Radiação das ampolas	2020 Digital	–
E175	Iogurte	Reação de fabricação do iogurte	2020 Digital	–
E176	Pilhas	Pilha recarregável	2020 Digital	–
E177	Eletrização	Eletrização de dois corpos em contato	2020 Impressa	–
E178	Polímeros	Vantagem do polímero biodegradável	2020 Impressa	–
E179	Óleo de rosas	Cadeias carbônicas	2020 Impressa	–
E180	Sacarose	Concentração de sacarose	2020 Impressa	–
E181	Pré-sal	Recurso energético	2020 Impressa	–
E182	Plástico PVC	Decomposição térmica do PVC	2020 Impressa	–
E183	Óleos vegetais	Polaridade das substâncias	2020 Impressa	–
E184	Dióxido de carbono	Influência nos organismos aquáticos	2020 Impressa	–

E185	Panela de pressão	Funcionamento da panela de pressão	2020 Impressa	-
E186	Nanotecnologia	Reações químicas	2020 Impressa	-
E187	Indicadores de umidade	Reação do indicador	2020 Impressa	-
E188	Câncer	Utilização de raios infravermelhos	2020 Impressa	-
E189	Emissão de dióxido de carbono	Emissão por veículo elétrico e movido a etanol	2020 Impressa	-
E190	Ovos parasitos	Densidade dos ovos	2020 Impressa	-
E191	Resíduos	Tratamento de resíduos de laboratório	2020 Impressa	-
E192	Petróleo	Derramamento e impactos ambientais	2020 Impressa	-
E193	Bomba atômica	Processo de detonação da bomba	2020 Impressa	-
E194	Química verde	Processo que segue os princípios da Química verde	2020 Impressa	-
E195	Fogos de artifício	Riscos ambientais	2020 Impressa	-
E196	Moedas de cobre	Densidade das moedas	2020 Impressa	-

Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE B: Questões do PISA codificadas com seus respectivos temas, descrição e ano

Questão	Tema	Descrição	Ano
P1	Mudança climática	Emissão de gás carbônico; efeito estufa	2000
P2	Mudança climática	Emissão de gás carbônico; efeito estufa	2000
P3	Moscas	O uso de inseticidas para moscas	2000
P4	Ozônio	Reação de formação do ozônio	2000
P5	Ozônio	Reação de formação do ozônio	2000
P6	Ozônio	Ozônio bom e ruim	2000
P7	Ozônio	Ozônio; camadas da atmosfera	2000
P8	Ozônio	Destruição da camada de ozônio	2000
P9	Milho	Milho/etapas do método científico	2003
P10	Milho	Reação de combustão do milho; milho como fonte de energia (combustível para o organismo dos animais)	2003
P11	Milho	Reação de combustão do milho	2003
P12	Milho	Reação de combustão do milho/Pesquisa científica (método científico) / combustível	2003
P13	Milho	Reação do gás carbônico com água/reação da fotossíntese	2003
P14	Milho	Reação de combustão do milho/ Emissão de gás carbônico na sua combustão	2003
P15	Milho	Gases causadores do efeito estufa	2003
P16	Água potável	Contaminação da água subterrânea ou superficial	2000 a 2006 ⁶
P17	Água potável	Etapas de tratamento da água para o consumo	2000 a 2006
P18	Água potável	Etapas de tratamento da água para o consumo: adição de cloro (eliminação de bactérias)	2000 a 2006
P19	Água potável	Etapas de tratamento da água para o consumo: ferver (eliminação de bactérias)	2000 a 2006
P20	Cáries dentárias	Formação das cáries / papel da bactéria na formação da cárie	2000 a 2006
P21	Cáries dentárias	Formação das cáries / interpretação de gráficos com relação ao número de dentes cariados x consumo de açúcar	2000 a 2006
P22	Cáries dentárias	Formação das cáries	2000 a 2006
P23	Cáries dentárias	Formação das cáries	2000 a 2006
P24	Cáries	Formação das cáries/ Experiência científica	2000 a

⁶ Alguns temas não apresentam a especificação detalhada do ano

	dentárias	(método científico)	2006
P25	Brilho Labial	Receita sobre como fazer batom e brilho labial e o que deveria ser adicionado para deixá-lo mais macio	2000 a 2006
P26	Brilho labial	Solubilidade da água em óleos e ceras	2000 a 2006
P27	Brilho labial	Solubilidade da água e do batom (óleos e gorduras) na presença de sabão	2000 a 2006
P28	Massa de pão	Reação química de fermentação	2000 a 2006
P29	Massa de pão	Reação de fermentação (lei da conservação das massas) / experimento científico	2000 a 2006
P30	Massa de pão	Reação química de fermentação	2000 a 2006
P31	Massa de pão	Massa de pão/ reação química de fermentação / movimento das moléculas no estado gasoso (teoria cinética dos gases)	2000 a 2006
P32	Um risco para a saúde	Problemas respiratórios provocados por uma fábrica de produtos químicos	2000 a 2006
P33	Um risco para a saúde	Comparativo feito por cientistas quanto aos problemas respiratórios	2000 a 2006
P34	Conversor catalítico	Como o catalisador reduz efeito prejudicial dos gases poluentes.	2000 a 2006
P35	Conversor catalítico	Formação de novos átomos e moléculas	2000 a 2006
P36	Conversor catalítico	Como diminuir a toxicidade dos gases poluentes	2000 a 2006
P37	Efeito estufa	Aumento da temperatura do planeta e a emissão do gás carbônico	2006
P38	Efeito estufa	Interpretação de gráficos em relação ao Aumento da temperatura do planeta e a emissão do gás carbônico	2006
P39	Efeito estufa	Aumento da temperatura do planeta e a emissão do gás carbônico	2006
P40	Grand Canyon	Causa da profundidade do Grand Canyon	2006
P41	Grand Canyon	Diferença de temperaturas no Grand Canyon (expansão da água quando congela)	2006
P42	Protetor solar	Experimento para comprovar a eficácia de diferentes protetores solares utilizando como referência óleo mineral e óxido de zinco	2006
P43	Protetor solar	Qual é o protetor solar mais eficaz	2006
P44	Protetor solar	Experimento sobre o protetor	2006
P45	Protetor solar	Experimento sobre o protetor	2006

P46	Chuva ácida	Origem dos Óxidos responsáveis pela chuva ácida	2006
P47	Chuva ácida	Experimento que simula a chuva ácida (vinagre e lascas de mármore)	2006
P48	Chuva ácida	Experimento que simula a chuva ácida (vinagre e lascas de mármore) – liberação de gás	2006
P49	Chuva ácida	Experimento que simula a chuva ácida (vinagre e lascas de mármore)	2006
P50	Chuva ácida	A combustão do carvão e derivados do petróleo contribui para o aumento da formação da chuva ácida	2006
P51	Combustíveis fósseis	Diferença no nível de CO ₂ da atmosfera em relação ao uso de biocombustíveis e de combustíveis fósseis	2015
P52	Combustíveis fósseis	Energia liberada e a quantidade de dióxido de carbono proveniente da queima de petróleo e de etanol.	2015
P53	Combustíveis fósseis	Armazenamento de CO ₂ em oceanos	2015
P54	Erupções Vulcânicas	O efeito que as emissões de cinzas e de dióxido de enxofre provenientes de erupções vulcânicas têm na quantidade da radiação solar que alcança a superfície da Terra	2015
P55	Erupções Vulcânicas	Efeito das erupções vulcânicas na concentração de dióxido de carbono (CO ₂) na atmosfera.	2015
P56	Usina elétrica	Produção de energia elétrica por Osmose (água proveniente do rio e do mar)	2015
P57	Usina elétrica	Concentração dos meios durante a osmose	2015
P58	Usina elétrica	Em relação à turbina e o gerador, qual o tipo de conversão de energia está envolvida (cinética em elétrica)	2015
P59	Usina elétrica	Relação entre a usina Azul e a usina que utiliza combustíveis fósseis para a geração de energia, no que diz respeito a ser ecologicamente correta	2015

Fonte: o próprio autor.