



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ -
IFCE *CAMPUS* FORTALEZA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**HIDROGÊNIO VERDE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE
QUÍMICA: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO A PARTIR DA EDUCAÇÃO CTSA**

**FORTALEZA
2026**

CALLIU CARNEIRO BARBOSA

HIDROGÊNIO VERDE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE QUÍMICA:
UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO A PARTIR DA EDUCAÇÃO CTSA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Área de concentração: Ensino de Química.

Orientadora: Profa. Dra. Caroline de Goes Sampaio.

Coorientador: Prof. Dr. Manuel Bandeira dos Santos Neto

FORTALEZA
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B238h Barbosa, Calliu Carneiro.

Hidrogênio Verde na formação inicial de professores de Química: uma estratégia de ensino a partir da Educação CTSA / Calliu Carneiro Barbosa. - 2026.
200 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Campus Fortaleza, 2026.

Orientação: Profa. Dra. Caroline de Goes Sampaio.

Coorientação: Prof. Dr. Manuel Bandeira dos Santos Neto.

1. Formação docente. 2. Química ambiental. 3. 3MP. 4. Sequência didática. I. Título.

CDD 510.07



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081 - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Processo: 23256.004237/2026-19

Interessado: Calliu Carneiro Barbosa

CALLIU CARNEIRO BARBOSA

HIDROGÊNIO VERDE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE QUÍMICA: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO A PARTIR DA EDUCAÇÃO CTSA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PGECM do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *Campus* de Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Aprovada em: 28/04/2026.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Caroline de Goes Sampaio (orientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Manuel Bandeira dos Santos Neto (coorientador)

Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Profa. Dra. Ana Karine Portela Vasconcelos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Profa. Dra. Maria Cleide da Silva Barroso

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Albino Oliveira Nunes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)



Documento assinado eletronicamente por **Caroline de Goes Sampaio, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 08/05/2026, às 16:50, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Bandeira dos Santos Neto, Usuário Externo**, em 08/05/2026, às 16:59, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Cleide da Silva Barroso, Coordenador(a) do PGECM**, em 08/05/2026, às 17:37, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Albino Oliveira Nunes, Usuário Externo**, em 09/05/2026, às 07:54, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Karine Portela Vasconcelos, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 11/05/2026, às 13:35, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador 8751936 e o código CRC E3DAC7C5.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, sabedoria e perseverança que me concedeu ao longo desta jornada, iluminando meus caminhos e sustentando-me nos momentos mais desafiadores.

À minha orientadora, professora Dra. Caroline de Goes Sampaio, que me acompanhou desde a graduação, sempre com acolhimento e carinho incondicionais, oferecendo o suporte necessário para que eu me tornasse o professor de Química que sou hoje. Destaco sua garra, determinação e capacidade de solucionar os entraves surgidos ao longo desse árduo percurso.

Também agradeço ao meu coorientador, professor Dr. Manuel Bandeira dos Santos Neto, que embora eu o tenha conhecido durante o mestrado, contribuiu de forma significativa por meio de suas considerações e ideias, enriquecendo substancialmente esta pesquisa.

Em memória dos meus avós maternos, Francisco das Chagas Carneiro (Seu Fransqui) e Maria Antonieta da Silva Carneiro (Dona Antonieta), e da minha avó paterna, Maria José de Sousa Barbosa (Dona Deca), por me ensinarem valores cristãos e serem exemplos de vida, luta, serenidade, união e afeto.

Em memória do meu padrinho Júlio César, por me ensinar a ser forte, a ter firmeza, a ser mais empático e humano com os meus semelhantes. Saudades eternas!

À minha companheira de vida, Emilly Sabino, pilar fundamental durante todo o meu processo enquanto mestrando. Obrigado por todo o amor, compreensão e por me encorajar a seguir em frente, sempre de cabeça erguida, até a conclusão desta etapa.

Aos meus pais, Antônio Cleudo e Maria da Conceição, por acreditarem que esse sonho seria possível e por investirem em mim com tempo, amor, dedicação e cuidado.

Aos meus irmãos, César e Muriel, pelo companheirismo e pelos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve.

A minha madrinha de batismo Lícia, por me impulsionar a ir além nos estudos.

Aos meus familiares em geral, principalmente ao meu primo João Paulo e sua esposa Débora, pela ajuda oferecida. Além da minha querida afilhada Antonella, por ser sinônimo de renovação e esperança.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PGECM) e da banca avaliadora, em especial às professoras Dra. Maria Cleide da Silva Barroso e Dra. Ana Karine Portela Vasconcelos, pelos ensinamentos, empenho e valiosas contribuições ao longo da minha formação. Além disso, quero agradecer ao professor Dr. Albino de Oliveira Nunes, pelo aceite em compor a minha banca examinadora.

À professora Dra. Socorro Pinheiro do IFCE – *Campus* Maracanaú, por disponibilizar espaço na disciplina de Didática do Ensino de Química para a realização desta pesquisa.

Ao meu amigo e mecânico automotivo Slovik Bastos, pelo auxílio fundamental na construção do protótipo eletrolisador para a síntese do hidrogênio. Sem sua colaboração, este trabalho não teria sido possível.

Ao professor Dr. Luiz Daniel, por ceder o painel solar fotovoltaico e o espaço do Laboratório de Potência e Controle (LPC), além da feitura do circuito elétrico, indispensáveis para a execução da aula prática de observação do funcionamento do protótipo.

Aos colegas de mestrado Mylena, Avinnys, Joyce, Rafaelly, Letícia e Natália, pelos momentos de descontração durante as aulas, atividades, trabalhos e provas.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campi* Fortaleza e Maracanaú, pelo apoio institucional e pelo ambiente propício à realização deste estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo financiamento desta pesquisa e pela concessão da bolsa de mestrado.

“Quando os ventos de mudança sopram,
umas pessoas levantam barreiras, outras
constroem moinhos de vento.”

Érico Veríssimo

RESUMO

O hidrogênio verde é obtido por meio da eletrólise da água, um processo que consiste na dissociação da molécula de água (H_2O) utilizando eletricidade proveniente de fontes renováveis (eólica e solar). Embora essa alternativa energética tenha ganhado destaque nas pesquisas mundiais, ainda são incipientes os estudos que investigam sua aplicação didática no Ensino de Química, particularmente no contexto da formação docente. Logo, esta pesquisa objetiva analisar uma estratégia de ensino voltada à formação inicial de professores de Química, utilizando o hidrogênio verde como recurso didático, incorporando aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais (CTSA), relacionados a essa fonte de energia. Realizou-se um estudo de caso único, de natureza qualiquantitativa, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* Maracanaú, conduzido por meio de uma sequência didática dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), no contexto da disciplina de Didática do Ensino de Química, envolvendo 11 participantes, com problematizações, experimentos relacionados ao tema e a apresentação de um protótipo de eletrólise. Para a produção dos dados, foram utilizados questionários, a adaptação do teste de alfabetização científica básica (TACB-A) e entrevista semiestruturada. Os dados foram tratados por meio da Análise de Conteúdo e da Estatística Descritiva e os resultados organizados em três blocos principais. Primeiramente, o Ranking Médio (RM) das percepções dos alunos, calculado a partir do questionário de frequência, revelou que a predominância das dimensões nas experiências formativas dos licenciandos demarcou aspectos relacionados à formação geral e profissional, além do interesse pelo aperfeiçoamento. Já a menor incidência do RM se apresentou mais na inserção da abordagem CTSA, de aspectos tecnológicos e educacionais. Em seguida, a Análise de Conteúdo, realizada com o auxílio do *software* Atlas.ti, identificou quatro grandes grupos temáticos: (1) alfabetização científica e tecnológica, (2) formação docente em Química, (3) fundamentos e produção do conhecimento e (4) hidrogênio verde. A análise de Rede, no mesmo *software*, mostrou que as categorias presentes nesses grupos se interrelacionam significativamente, revelando uma compreensão integrada das ideias. Por fim, os resultados do TACB-A, aferidos no pré-teste e pós-teste, indicaram avanços na alfabetização científica e tecnológica dos participantes. As práticas experimentais e o protótipo foram bem-sucedidos, e o questionário final evidenciou uma aprendizagem positiva dos alunos em relação ao tema. Dessa forma, os dados demonstram que a estratégia didática proposta foi eficaz na formação inicial docente, ampliando suas compreensões e competências à luz da Educação CTSA.

Palavras-chave: Formação docente; Química Ambiental; 3MP; Sequência didática.

ABSTRACT

Green hydrogen is obtained through the electrolysis of water, a process that consists of the dissociation of the water molecule (H_2O) using electricity from renewable sources (wind and solar). Although this energy alternative has gained prominence in global research, studies that investigate its didactic application in Chemistry Education are still incipient, particularly in the context of teacher education. Therefore, this research aims to analyze a teaching strategy aimed at the initial training of Chemistry teachers, using green hydrogen as a didactic resource, incorporating scientific, technological, social, and environmental aspects (STSE) related to this energy source. A single case study was carried out, of a quali-quantitative nature, at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará (IFCE, acronym in Portuguese), Maracanaú Campus, conducted through a didactic sequence of the Three Pedagogical Moments (3PM), in the context of the discipline of Didactics of Chemistry Teaching, involving 11 participants, with problematizations, experiments related to the theme, and the presentation of an electrolysis prototype. For data production, questionnaires, the adaptation of the Basic Scientific Literacy Test (BSLT-A), and a semi-structured interview were used. The data were treated through Content Analysis and Descriptive Statistics, and the results were organized into three main blocks. First, the Mean Ranking (MR) of students' perceptions, calculated from the frequency questionnaire, revealed that the predominance of dimensions in the formative experiences of the undergraduates demarcated aspects related to general and professional training, as well as interest in improvement. The lower incidence of the MR was more evident in the insertion of the STSE approach, of technological and educational aspects. Next, the Content Analysis, carried out with the aid of the Atlas.ti software, identified four major thematic groups: (1) scientific and technological literacy, (2) teacher education in Chemistry, (3) foundations and production of knowledge, and (4) green hydrogen. The Network analysis, in the same software, showed that the categories present in these groups are significantly interrelated, revealing an integrated understanding of the ideas. Finally, the results of the BSLT-A, measured in the pre-test and post-test, indicated advances in the scientific and technological literacy of the participants. The experimental practices and the prototype were successful, and the final questionnaire showed a positive learning of the students in relation to the theme. Thus, the data demonstrate that the proposed didactic strategy was effective in initial teacher education, expanding their understandings and competencies in light of STSE Education.

Keywords: Teacher education; Environmental Chemistry; 3PM; Didactic sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funil de organização do referencial teórico.....	25
Figura 2 – Princípios do “programa forte” da sociologia do conhecimento.....	32
Figura 3 – A Educação como eixo integrador das relações CTSA.....	34
Figura 4 – Parâmetros de avaliação da participação cidadã nas decisões científico-tecnológicas na gestão pública democrática.....	35
Figura 5 – Caricatura de Humphry Davy em palestra do Royal Institution.....	51
Figura 6 – Esquema de funcionamento do eletrolisador alcalino.....	57
Figura 7 – Esquema de funcionamento do eletrolisador PEM.....	58
Figura 8 – Esquema de funcionamento do eletrolisador SOEC.....	60
Figura 9 – Esquema de funcionamento do eletrolisador AEM.....	61
Figura 10 – Maior esfera criogênica de hidrogênio líquido, situada no complexo de lançamento <i>Kennedy Space Center</i> da NASA.....	64
Figura 11 – Navio de transporte de hidrogênio liquefeito com tanques esféricos criogênicos.....	65
Figura 12 – Localização do Hub de Hidrogênio Verde no Ceará.....	68
Figura 13 – Mapa de localização do IFCE - <i>Campus</i> de Maracanaú.....	81
Figura 14 – Configuração estrutural e dimensional dos eletrodos de aço inoxidável.....	96
Figura 15 – Protótipo de eletrólise alcalina da água para a produção de H_2V	97
Figura 16 – Importação dos arquivos no Atlas.ti.....	106
Figura 17 – Processo de leitura e codificação das respostas dos participantes.....	107
Figura 18 – Categorias e grupos obtidos após a codificação dos materiais.....	108
Figura 19 – Rede do grupo temático da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT).....	110
Figura 20 – Rede do grupo temático da Formação Docente em Química.....	113
Figura 21 – Rede do grupo de fundamentos e produção do conhecimento.....	115
Figura 22 – Rede do grupo temático do hidrogênio verde.....	119
Figura 23 – Observação da placa solar e do protótipo em funcionamento.....	123
Figura 24 – Multímetro digital com as informações monitoradas.....	124
Figura 25 – Registro das atividades experimentais realizadas.....	128
Figura 26 – Registro das apresentações dos planos de aula pelos licenciandos.....	131
Figura 27 – Respostas corretas do Questionário V.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Poder calorífico inferior dos combustíveis em MJ/kg.....	52
Tabela 2 – Densidade energética volumétrica de combustíveis em MJ/L.....	53
Tabela 3 – Características técnicas dos quatro tipos de eletrolisadores de água.....	62
Tabela 4 – Estatísticas descritivas e teste de normalidade das variáveis questões 9 e 10.....	100
Tabela 5 – Resultados da Correlação de Spearman entre as Questões 9 e 10.....	101
Tabela 6 – Quantitativo de respostas por item das questões onze a quinze do Questionário 1..	101
Tabela 7 – Frequência de respostas e Ranking Médio das questões na escala <i>Likert</i>	103
Tabela 8 – Proficiência de acertos em porcentagem dos alunos por eixo.....	121
Tabela 9 – Distribuição dos acertos e classificação de dificuldade dos itens do TACB-A.....	122
Tabela 10 – Distribuição de acertos, erros e incompletudes por aluno.....	134

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Segmentação das aplicações do H ₂ V por categorias de uso.....	67
Gráficos 2 – Dados sociodemográficos dos participantes da pesquisa.....	98
Gráfico 3 – Rede escolar frequentada na etapa do Ensino Médio.....	99
Gráfico 4 – Quantidade total de pessoas residindo com o licenciando (incluindo ele)	99
Gráfico 5 – <i>Ranking</i> Médio das frequências por questão distribuídos em ordem crescente....	104
Gráfico 6 – Comparativo de acertos por eixo das respostas de cada estudante.....	120
Gráfico 7 – Variação de Potência (W) e Eficiência (%) em função do tempo.....	125
Gráfico 8 – Número de acertos, erros e incompletudes de questões por aluno.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fases históricas e perspectivas sociais sobre a C&T.....	28
Quadro 2 – Contraste entre as vertentes mundiais CTS/CTSA.....	38
Quadro 3 – Síntese de busca e registros nas bases de dados ibero-americanas.....	39
Quadro 4 – Estudos incluídos no <i>corpus</i> documental de análise.....	40
Quadro 5 – Mapeamento de objetivos e métodos das produções incluídas.....	42
Quadro 6 – Principais marcos legais e eventos na formação de professores no Brasil.....	46
Quadro 7 – Competências e habilidades selecionadas da BNCC para potencializar a discussão de ER na prática pedagógica de licenciandos em Química.....	49
Quadro 8 – Taxonomia das cores do hidrogênio e sua abrangência no Brasil e no mundo.....	53
Quadro 9 – Dimensões da Alfabetização Científica e Tecnológica.....	74
Quadro 10 – Descrição dos encontros da pesquisa.....	84
Quadro 11 – Recursos utilizados para a problematização inicial.....	86
Quadro 12 – Etapas da aula, assuntos que serão abordados e duração.....	88
Quadro 13 – Elaboração das assertivas, com base nas ideias, ou contradições a autores.....	94
Quadro 14 – Códigos e ocorrências das visões dos estudantes sobre a C&T.....	114
Quadro 15 – Matriz de desempenho dos alunos por questão.....	132

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Alfabetização Científica
ACT	Alfabetização Científica e Tecnológica
ADECE	Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará
AEM	Anion Exchange Membrane (Membrana de Troca Aniônica)
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ATD	Análise Textual Discursiva
AWE	<i>Alkaline Water Electrolysers</i> (Eletrolizadores de Água Alcalina)
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BM	Banco Mundial
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BNC - Formação	Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica
C&T	Ciência e Tecnologia
CAAE	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCUS	<i>Carbon Capture, Utilization and Storage</i> (Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono)
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> (Captura e Armazenamento de Carbono)
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa
CIPP	Complexo Industrial e Portuário do Pecém
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
COP	<i>Conference of the Parties</i> (Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas)
CO ₂	Dióxido de Carbono
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
CV	Capitalismo Verde
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
DCNCQ	Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Química
DCN-Formação	Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior de Profissionais do Magistério da Educação Escolar Básica
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
DVB	Divinilbenzeno

EA	Educação Ambiental
EC	Ensino de Ciências
ENADE	Exame Nacional de Desempenho de Estudantes
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
EPOR	<i>Empirical Programme of Relativism</i> (Programa Empírico do Relativismo)
ER	Energias Renováveis
FID	<i>Final Investment Decis</i> (Decisão Final de Investimentos)
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
FMI	Fundo Monetário Internacional
FUNCAP	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GDL	<i>Gas Diffusion Layer</i> (Camada de difusão de gás)
GEE	Gases do Efeito Estufa
H ₂	Gás Hidrogênio
H ₂ -eq	Gás Hidrogênio Equivalente
H ₂ O	Água
H ₂ V	Hidrogênio Verde
IES	Instituições de Ensino Superior
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
KOH	Hidróxido de Potássio
LA Referencia	<i>Red Latinoamericana y de España de Ciencia Abierta</i> (Rede Latino-Americana e Espanhola de Ciência Aberta)
LDB	Lei Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LOHCs	Transportadores Orgânicos Líquidos
MCH	Metilciclohexano
MEC	Ministério da Educação
NaOH	Hidróxido de Sódio
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos)
NASTS	<i>National Association for Science, Technology and Society</i> (Associação Nacional para a Ciência, Tecnologia e Sociedade)
NSF	<i>National Science Foundation</i> (Fundação Nacional de Ciência)

NSTA	<i>National Science Teaching Association</i> (Associação de Professores de Ciências dos Estados Unidos)
O ₂	Gás Oxigênio
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OH ⁻	Hidroxila
ONU	Organização das Nações Unidas
Opep+	Organização dos Países Exportadores de Petróleo mais países convidados como Rússia, México, Cazaquistão
PEM	<i>Polymer Electrolyte Membrane</i> (Membrana de Troca Protônica)
PBL	<i>Problem-Based Learning</i> (Aprendizagem Baseada em Problemas)
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PIBID	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência
PLACTS	Pensamento Latino-Americano em Ciência-Tecnologia-Sociedade
PPC	Portal de Periódicos da Capes
PRP	Programa Residência Pedagógica
PTL	<i>Porous Transport Layer</i> (Camada de Transporte Porosa)
QSCs	Questões Sociocientíficas
RCAAP	Repositórios Científicos de Acesso Aberto de Portugal
RM	<i>Ranking</i> Médio
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuel</i> (Combustível Sustentável de Aviação)
SATIS	<i>Science & Technology in Society</i> (Ciência e Tecnologia na Sociedade)
SCOT	<i>Social Construction of Technology</i> (Construção Social da Tecnologia)
SISCON	<i>Science in a Social Context</i> (Ciência em um Contexto Social)
SLS	<i>Space Launch System</i> (Sistema de lançamento espacial)
SOEC	<i>Solid Oxide Electrolyser Cell</i> (Célula Eletrolítica de Óxido Sólido)
TACB	Teste de Alfabetização Científica Básica
TACB-S	Teste de Alfabetização Científica Básica Simplificado
TACB-A	Teste de Alfabetização Científica Básica Adaptado
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
3MP	Três Momentos Pedagógicos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	20
1. REFERENCIAL TEÓRICO	25
1.1 Historicidade e fundamentos do movimento CTS/CTSA.....	26
1.1.1 Vertente europeia.....	32
1.1.2 Vertente norte-americana.....	33
1.1.3 Pensamento latino-americano.....	36
1.2 Estado da arte das energias renováveis na formação docente.....	39
1.2.1 Docência em Química: relações com a BNCC e a BNC-Formação.....	44
1.3 Hidrogênio: antecedentes, características e propriedades físico-químicas.....	51
1.4 Cadeia de valor do hidrogênio verde e o conceito de eletrólise	53
1.4.1 Rotas tecnológicas de síntese	55
1.4.2 Armazenamento e transporte.....	63
1.4.3 Distribuição e aplicação.....	65
1.5 Hub de Hidrogênio no Ceará: potencial e oportunidades para o Brasil.....	67
1.6 Hidrogênio e o capitalismo verde: uma breve reflexão.....	69
1.7 Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT): da concepção à avaliação	72
1.8 Sequência didática dos Três Momentos Pedagógicos (3MP).....	76
2. METODOLOGIA.....	78
2.1 Procedimento de pesquisa	79
2.2 Campo e sujeitos da pesquisa	80
2.3 Instrumentos e procedimentos de produção dos dados	82
2.4 Planejamento e aplicação da intervenção	84
2.5 Procedimentos de análise.....	90
2.6 Processo de adaptação do Teste de Alfabetização Científica Básica.....	93
2.7 Construção do protótipo eletrolisador alcalino.....	95
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
3.1 Caracterização socioeconômica.....	98
3.2 Percepções dos licenciandos.....	102
3.3 Concepções acerca dos grupos temáticos.....	106
3.4 Análise comparativa do TACB-A.....	119
3.5 Experimentos e relatórios correspondentes.....	123
3.6 Revisão dos planos de aula e respectivas apresentações.....	129
3.7 Parâmetros de aprendizagem.....	132

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135
REFERÊNCIAS	137
ANEXO A – Termo de autorização e existência de infraestrutura.....	162
ANEXO B – Cópia do parecer consubstanciado do CEP / IFCE	163
ANEXO C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do(a) Professor(a) Regente para Participação da Pesquisa.....	170
ANEXO D - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do(a) Estudante para Participação da Pesquisa.....	174
ANEXO E – Modelo de Plano de Aula	179
APÊNDICE I – Questionário I: Perfil Socioeconômico dos Discentes Participantes da Pesquisa	180
APÊNDICE II – Questionário II: Frequência das Percepções dos Licenciandos em Química	182
APÊNDICE III – Questionário III: TACB-A – Teste de Alfabetização Científica Adaptado ao contexto da pesquisa.....	185
APÊNDICE IV – Questionário IV: Das opiniões discentes sobre CTSA, alfabetização científica e hidrogênio verde	189
APÊNDICE V – Questionário V: Aprendizagem desenvolvida em decorrência do estudo..	193
APÊNDICE VI – Roteiro das Práticas Experimentais.....	196
APÊNDICE VII – Modelo padrão para a elaboração do relatório das práticas experimentais	200

INTRODUÇÃO

O estudo da Química é indispensável à compreensão dos mais variados fenômenos, uma vez que essa ciência investiga a matéria, suas transformações, composições, preparações e reações presentes no universo. As transformações realizadas por meio de recursos procedimentais e processos químicos resultam na produção de alimentos, medicamentos, combustíveis, metais e diversos outros produtos essenciais à sobrevivência humana (Sousa; Brasil, 2012).

Atualmente, uma das áreas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico que tem ganhado destaque nas discussões globais relacionadas à melhoria da qualidade de vida humana é a produção de hidrogênio verde (H_2V). Trata-se de uma fonte de energia limpa, produzida a partir de fontes elétricas renováveis, principalmente eólica e solar, que promove a dissociação da molécula de água (H_2O). Essa tecnologia abre um conjunto de expectativas quanto ao seu potencial revolucionário, especialmente nos setores energético, industrial, agrícola e de transportes (EPE, 2021; ANP, 2024).

Segundo Kumar e Himabindu (2019), o crescimento contínuo da economia global, aliado ao aumento das necessidades energéticas e à limitação das reservas de combustíveis fósseis, somado às preocupações com a sustentabilidade e os impactos ambientais, evidencia a necessidade de novas abordagens energéticas que reduzam as emissões de carbono para atmosfera, impulsionando o avanço das pesquisas em H_2V .

Essas demandas de ordem econômica, energética e ambiental refletem-se diretamente nas agendas políticas internacionais. Imbricadas a essa dinâmica, destaca-se a realização da 30ª Conferência das Partes da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP 30), realizada em Belém do Pará, na qual os 194 países participantes reafirmaram seu compromisso com os objetivos do Acordo de Paris de 2015, especialmente a meta de limitar o aumento da temperatura global a $1,5^{\circ}C$ até 2050. A conferência também enfatizou a necessidade de uma transição energética justa e inclusiva, orientada para a descarbonização da economia global (ONU News, 2025; COP30, 2025).

Diante desse cenário, a inserção da temática da produção de hidrogênio e do conjunto de conhecimentos que compõem esse arcabouço científico-tecnológico na formação de professores de Química mostra-se fundamental, pois contribui para a preparação de docentes aptos a discutir problemáticas de natureza *glocal*, isto é, termo concebido para a articulação das dimensões globais, regionais, nacionais e locais, como por exemplo, as mudanças climáticas e os seus desdobramentos (Pedrosa, 2018). É salutar que propostas voltadas a formação docente

fomentem o desenvolvimento da criticidade e da reflexão de maneira integrada e holística, promovendo a articulação entre teoria e prática, reflexão e ação, bem como entre planejamento e pesquisa (Ribeiro *et al.*, 2024).

Sob esse entendimento, as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), conforme o parecer CNE/CES nº 1.303/2001, aprovado em 6 de novembro de 2001, estabelecem, para os cursos de Licenciatura em Química, a necessidade de uma compreensão e acompanhamento dos avanços científico-tecnológicos educacionais, bem como o domínio do trabalho em laboratório e da experimentação como recurso pedagógico (Brasil, 2001).

Com esse mesmo direcionamento, outros documentos oficiais, como a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação), sancionada em 2019 e as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior de Profissionais do Magistério da Educação Escolar Básica (DCN-Formação), de 2024, visam padronizar currículos, subordinando-os à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), com objetivo de formar professores capazes de integrar teoria e prática de forma interdisciplinar e contextualizada, fortalecendo processos investigativos, de autonomia e tomada de decisões frente às problemáticas socioambientais (Brasil, 2019; Brasil, 2024).

Compreender os benefícios sociais e ambientais proporcionados pela obtenção de H_2V por meio de processos físico-químicos e tecnológicos, como a eletrólise da água, bem como conhecer seus tipos e mecanismos, denota a relevância desta pesquisa para o Ensino de Química, ao oferecer subsídios que contribuem para a implementação das orientações preconizadas pelas DCN.

Apesar dos avanços normativos, ainda persistem desafios não totalmente transpostos, na formação de professores das mais variadas licenciaturas, como a necessidade de práticas educativas fundamentadas na interdisciplinaridade e transdisciplinaridade, no uso de novas tecnologias e metodologias diferenciadas de ensino e na contextualização curricular (Ribeiro *et al.*, 2018). Parte desses desacertos, decorrem do distanciamento entre os saberes construídos na formação inicial e aqueles exigidos na prática profissional, desvelados pela separação entre disciplinas pedagógicas e específicas, pela dicotomia entre teoria e prática e pela desarticulação entre formação acadêmica e realidade escolar (Leite, 2016 *apud* Ribeiro *et al.*, 2018).

Na licenciatura em Química, esses problemas se manifestam, entre outros aspectos, pela predominância de currículos excessivamente técnicos, que relegam a formação pedagógica a um segundo plano e aproximam a licenciatura de um modelo bacharelesco, ou seja, um apêndice do bacharelado. Esse quadro é agravado pela expansão acelerada e aligeirada de cursos em algumas Instituições de Ensino Superior (IES), bem como pelo distanciamento entre

as próprias IES e as escolas, o que fragmenta a preparação dos futuros professores. Embora existam iniciativas governamentais como o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) e o Programa Residência Pedagógica (PRP), essas ações ainda atingem um número restrito de estudantes e não eliminam o descompasso entre a formação oferecida e as demandas da educação básica (Silva; Oliveira, 2009; Silva; Carneiro, 2022).

Nesse contexto, torna-se necessário que professores de Química e de outras áreas estejam preparados para abordar questões relacionadas à energia verde, sustentabilidade e tecnologia em sala de aula, buscando alternativas que superem os desafios supracitados. É nesse sentido que o movimento Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) assume papel central, ao promover uma abordagem interdisciplinar que integra essas dimensões às práticas educacionais do cotidiano (Rodrigues; Silva, 2022).

A abordagem CTSA favorece o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisões conscientes frente a situações-problema de natureza social, ambiental, tecnológica, política e econômica, permitindo a inserção de metodologias que possibilitam a solução de problemas reais e a formação de sujeitos críticos e participativos na sociedade (Santos; Mortimer, 2002).

Considerando a problemática da poluição e da emissão de CO₂ (gás carbônico) para a atmosfera, oriundos do uso de combustíveis fósseis, especialmente os derivados do petróleo, urge a capacitação dos profissionais da educação. Oportunizando uma educação ambiental que possibilite intervenções pedagógicas arraigadas à perspectiva CTSA e às discussões sobre prospecção, armazenamento, transporte e aplicação de H₂V.

O tema energias renováveis e não renováveis é de alta relevância para educação ambiental, podendo ser abordado em sala de aula (Wrobel, 2015). Essa relação entre temas ambientais e as ciências, em específico com a Química, tanto no âmbito da educação básica, como na educação superior, causa surpresa e desperta interesse por parte dos estudantes, quando surgem indagações feitas por eles, tais como: “Qual a relação desse assunto com a Química?”, “Qual a importância e os impactos ambientais?”. Em resposta a esses e outros questionamentos, feitos comumente em sala de aula, sentiu-se a necessidade de elaborar estratégias didático-metodológicas que vinculem essas duas vertentes.

O ensino de Química aliado à temas ambientais na formação inicial de professores, estimula um exercício crítico de reflexão, a racionalidade socioambiental, atrelados a percepção de como se deve agir frente aos recursos disponíveis no meio ambiente (Freitas; Coelho, 2023). Pinheiro, Santos e Peneluc (2017), asseveram que a contextualização da Química com a educação ambiental crítica permite a formação cidadã dos graduandos, voltada ao pensamento coletivo e a compreensão emancipatória, que vai além da mera conceituação química e

reprodutivista de fenômenos científicos, situando os futuros educadores na sociedade em que estão inseridos.

Nesse horizonte formativo, apesar do crescimento das pesquisas relacionadas ao H₂V nos campos tecnológico e energético, como os estudos recentes de Melo (2023), Santos *et al.* (2023), Salgado *et al.* (2025), ainda são incipientes investigações de sua inserção como recurso didático na formação inicial e continuada de professores, especialmente quando articulada à abordagem CTSA e ao uso de estratégias pedagógicas experimentais acessíveis. Essa lacuna evidencia a necessidade de investigações que integrem conteúdos científicos contemporâneos, formação docente e a criticidade.

Diante do exposto, esta pesquisa orienta-se pela seguinte questão norteadora: Como a abordagem CTSA, mediada por uma sequência didática dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) sobre o hidrogênio verde, corrobora para a formação inicial docente em Química?

Essa questão desdobra-se em perguntas secundárias que buscam aprofundar e compreender diferentes dimensões do processo formativo, a saber: Em que aspectos da formação inicial docente em Química a utilização de um protótipo acessível de síntese de H₂V (eletrolisador alcalino), no contexto da educação CTSA, potencializa a apropriação conceitual e pedagógica dos licenciandos? Como a abordagem CTSA, aplicada por meio dos 3MP, influencia o desenvolvimento de dimensões da alfabetização científica (conceituais, procedimentais e atitudinais) do público-alvo? Quais são as concepções prévias e decorrentes de aprendizagem sobre a Química obtidas a partir deste estudo de caso, bem como as noções científicas, tecnológicas, sociais e ambientais? Com que frequência os licenciandos em Química demonstram apropriação pedagógica dos conceitos de H₂V e da abordagem CTSA, considerando experiências formativas, planejamentos didáticos e expectativas de uso em sua futura prática docente?

Parte-se da hipótese de que a aplicação de uma sequência didática sobre o H₂V, fundamentada na educação CTSA e estruturada nos 3MP de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018), promove uma formação mais crítica e reflexiva dos licenciandos em Química, capacitando-os a compreender e ensinar conteúdos relacionados à ciência e tecnologia (C&T), bem como atuar como multiplicadores desses conhecimentos na educação básica.

O **objetivo geral** da investigação consiste em: analisar uma estratégia de ensino para a formação inicial de professores do curso de Licenciatura em Química, utilizando o hidrogênio verde como temática promotora e incorporando aspectos científicos, sociais, tecnológicos e ambientais ligados a essa fonte de energia renovável. A partir disso, almeja-se detalhar essa análise nos **objetivos específicos**, subsequentes:

- a) Investigar a síntese de H_2V , por meio da construção e operação de um protótipo de eletrólise da água, direcionado aos estudantes de licenciatura em Química do IFCE, *campus* Maracanaú, explorando aspectos eletroquímicos e sociocientíficos;
- b) Avaliar, junto aos discentes de licenciatura em Química, uma sequência didática embasada nos 3MP, envolvendo a abordagem educacional CTSA sobre o H_2V ;
- c) Problematicar as percepções prévias dos estudantes sobre o desenvolvimento habitual de suas aprendizagens durante o curso de licenciatura em Química, assim como as perspectivas decorrentes da execução desta proposta de ensino.

Assim, a presente dissertação passa a ser organizada, em quatro capítulos inter-relacionados, concebidos de modo a assegurar coerência e progressão teórica-metodológica. O **Capítulo 1** dedica-se a uma revisão teórica sobre a gênese do movimento CTS/CTSA, contemplando sua historicidade, com atenção às vertentes desenvolvidas no continente europeu, norte-americano e latino-americano. Ainda, o capítulo discute os principais aspectos relacionados ao hidrogênio, perfazendo seus fundamentos científicos, a taxonomia das cores segundo as distintas rotas de produção, incluindo o H_2V e suas tecnologias de eletrólise. De forma complementar, apresenta-se um panorama do tipo estado da arte, interseccionando a formação docente e as energias renováveis. Por fim, discutem-se os pressupostos da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) e de que modo esta pode influenciar a criticidade e a compreensão epistemológica¹ dos fundamentos subjacentes à inserção de tecnologias sustentáveis, bem como a estruturação da sequência didática fundamentada nos 3MP.

O **Capítulo 2** descreve o delineamento metodológico da pesquisa como estudo de caso qualitativo trilhado para atingir os objetivos dessa dissertação, cujos tópicos são: o contexto e os participantes; os instrumentos e procedimentos de produção e análise dos dados; o planejamento e a aplicação da intervenção didática; a adaptação do Teste de Alfabetização Científica Básica (TACB) e a construção do protótipo alcalino de eletrólise da água.

Enquanto, o **Capítulo 3** de resultados e discussão, apresenta e analisa os dados produzidos, considerando os questionários, a avaliação das atividades experimentais, dos relatórios e dos planos de aula, bem como os parâmetros de aprendizagem identificados. Finalmente, o **Capítulo 4** explicita as considerações finais, sintetiza os principais achados, retomando a questão central, secundárias e os objetivos, destacando as contribuições do estudo e indicando desdobramentos para pesquisas futuras.

¹ Tesser (1994, p. 92), explica que: “Podemos considerar a epistemologia como o estudo metódico e reflexivo do saber, de sua organização, de sua formação, de seu desenvolvimento, de seu funcionamento e de seus produtos intelectuais. A epistemologia é o estudo do conhecimento”.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta um apanhado histórico do movimento CTS/CTSA, elencando suas vertentes regionais e seus contextos, desde a gênese, perpassando pelo viés ambiental, até culminar nas transformações educacionais e, em um movimento de afunilamento, aborda a formação de docentes em Ciências, com ênfase nos professores de Química, no que concerne à utilização das energias renováveis (ER) como objeto de estudo, em diferentes nuances.

Para tanto, são tecidas discussões advindas de trabalhos recuperados em bases de dados e repositórios ibero-americanos, incluindo teses e dissertações, dada a riqueza de detalhes e a profundidade dos trabalhos, com a finalidade de compreender como essas pesquisas têm sido desenvolvidas, nos últimos 15 anos, no âmbito da formação inicial e continuada de professores.

Esse levantamento possibilitou identificar similaridades e divergências em relação ao escopo proposto nesta investigação, além de fornecer *insights* relevantes para a continuidade do campo de estudo, ao mesmo tempo em que se avança para o entendimento mais específico do hidrogênio, com destaque para o H₂V, explorando sua cadeia de valor e os debates que o envolvem sob as perspectivas das ER e dos aspectos sociais e econômicos, evidenciando dilemas éticos e controvérsias sociocientíficas associadas ao capitalismo verde e, tensionadas pelas interações entre sustentabilidade e desenvolvimentismo.

Dando continuidade ao quadro teórico, versamos sobre a ACT, definida a partir das contribuições de autores que apontam habilidades e pré-requisitos essenciais para caracterizar um indivíduo alfabetizado, o que fundamenta um método avaliativo para mensurar a AC dos licenciandos, tendo os 3MP como “gargalo” do percurso, equilibrando as etapas de planejamento, execução e avaliação da intervenção didática. A Figura 1 representa, em forma de funil, a organização das seções do capítulo.



Fonte: o autor, 2026.

1.1 Historicidade e fundamentos do movimento CTS/CTSA

Entre meados do século XX e a década de 1970, a visão social predominante sobre as atividades da ciência e da tecnologia (C&T) estava ancorada em um pensamento determinista, caracterizado pela ideia de superioridade e neutralidade, bem como por um caráter salvacionista ou redentor, alinhado a postulados tecnocráticos². Tal concepção tendia a dissociar o binômio C&T das decisões políticas, das dinâmicas sociais e dos conflitos ideológicos e de interesses que permeavam sua produção e aplicabilidade (Auler; Bazzo, 2001; Auler, 2002).

Com efeito, essa ideologia social moldou a trajetória da C&T, levando a uma espécie de equação linear do desenvolvimento: “+ ciência = + tecnologia = + riqueza = + bem-estar social” (Bazzo; Von Linsingen; Pereira, 2003, p.120), onde o progresso era visto como um caminho unidimensional e os seus resultados trariam benefícios (Bazzo 1998; Auler; Bazzo, 2001).

Coadunado a isso, esse entendimento foi reforçado, à época, por acontecimentos históricos emblemáticos, como a invenção dos computadores (1946), os primeiros transplantes de órgãos (1950), a criação da pílula anticoncepcional (1955), o lançamento do satélite Sputnik pela União das Repúblicas Socialistas Soviéticas – URSS (1957) e a chegada do ser humano à Lua (1969), que contribuíram para legitimar a crença no caráter essencialmente positivo dos avanços científico-tecnológicos (Palacios *et al.*, 2001; Bazzo; Von Linsingen; Pereira, 2003).

Dúvidas latentes acerca do papel da ciência e do modelo desenvolvimentista então adotado nos Estados Unidos se intensificaram após o envio, pelos soviéticos, do primeiro satélite artificial ao espaço. Como consequência, o sistema educacional estadunidense passou a ser responsabilizado pelas desvantagens tecnológicas observadas durante a corrida espacial. Nesse cenário, o Ensino de Ciências (EC) foi rotulado como obsoleto, o que desencadeou profundas reformas curriculares e elevados investimentos em projetos orquestrados por universidades e cientistas renomados (Cruz, 2001; Chassot, 2004).

Todavia, o *status quo* de confiança irrestrita na ciência e na tecnologia logo seria refutado. Os impactos decorrentes da Segunda Guerra Mundial (1939–1945), sobretudo o lançamento das bombas atômicas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki, somados ao advento da Guerra Fria (1947–1991), aos conflitos bélicos na Coreia (1950–1953) e no Vietnã (1955–1975), intensificaram debates profundos que atravessaram a sociedade, a comunidade científica e os campos político e educacional. Esses acontecimentos colocaram em ‘xeque’ a ideia de neutralidade e de progresso automático da C&T, cuja lógica, até então compreendida

² A “perspectiva tecnocrática refere-se a uma visão de mundo que praticamente não deixa espaço para a democracia nas decisões que afetam a tecnologia, considerando que essa está presa a uma visão de progresso, de resolução de problemas que exclui ambiguidades” (Auler; Delizoicov, 2001, p.124 *apud* Pacey, 1990).

como força motriz do bem-estar social, passou a ser alvo de críticas sistemáticas (Palacios *et al.*, 2001; Bazzo; Von Linsingen; Pereira, 2003; Auler, 2002; Santos; Mortimer, 2002).

De forma análoga, obras publicadas ao longo das décadas de 1960 e 1970 consolidaram as críticas ao modelo hegemônico de progresso linear e ilimitado. *The Structure of Scientific Revolutions (A Estrutura das Revoluções Científicas)*, publicada em 1962 pelo filósofo Thomas Kuhn, problematizou a noção de progresso científico cumulativo e neutro ao introduzir o conceito de mudanças paradigmáticas no desenvolvimento da ciência. No mesmo ano, *Silent Spring (Primavera Silenciosa)*, da bióloga Rachel Carson, denunciou os impactos ambientais e os riscos à saúde humana decorrentes do uso indiscriminado de pesticidas e agrotóxicos, como o DDT (diclorodifeniltricloroetano). Posteriormente, em 1973, *Small Is Beautiful: A Study of Economics as if People Mattered* (título português: *O negócio é ser pequeno*), do economista Ernst F. Schumacher, questionou a lógica econômica baseada no crescimento ilimitado e defendeu modelos produtivos mais sustentáveis (Cerezo, 1998; Von Linsingen, 2007).

Essas obras expuseram o retrato dos levantes político-sociais que demarcaram o surgimento de um movimento forjado em princípios éticos e democráticos, orientado por preocupações crescentes acerca dos impactos negativos da ciência e da tecnologia sobre a sociedade e o meio ambiente. Nesse viés, o campo de pesquisas em Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), posteriormente ampliado na visão de alguns pesquisadores e teóricos, pela incorporação da dimensão ambiental (A), ao acrônimo, deu origem ao enfoque³ CTSA (em inglês STSE), passando a confluir e a conferir visibilidade às problematizações críticas em torno dessas relações (Pedretti, 2003; Vilches; Gil Pérez; Praia, 2011).

Embora alguns autores considerem desnecessário o acréscimo do “A” à tríade CTS, por entenderem que a dimensão ambiental já se encontra implicitamente contemplada nesse liame, Vilches, Gil Pérez e Praia (2011, p. 180), esclarecem que:

Mas aqueles que promovem a expressão CTSA não estão dizendo que a “A” não esteja contida em CTS, mas antes pretendem que se lhe dê uma maior ênfase na educação científica para evitar um tratamento particularmente insuficiente das questões ambientais quando se incorporam as relações CTS.

Partindo desse pressuposto, concordamos, na presente pesquisa, com a adoção do prisma CTSA, por compreendermos que a dimensão ambiental não apenas atravessa, mas tensiona e ressignifica as relações CTS, constituindo-se como elemento basilar para a formação docente crítica, reflexiva e socialmente comprometida.

³ Os termos ‘enfoque CTSA’ e ‘abordagem CTSA’ são equivalentes neste estudo, haja vista que, na literatura com a qual dialogamos, ambas as terminologias se referem à sua incorporação em práticas educativas.

Doravante, de acordo com Álvarez (2001), é possível identificar três fases na constituição histórica e epistemológica do movimento CTSA ao longo do tempo. À luz dessas transformações, apresenta-se no Quadro 1 uma síntese que demarca os períodos, iniciando em 1945 com a confiança no poder da ciência e da tecnologia para o progresso social, e a consolidação do movimento CTSA após 1968, a partir de questionamentos e críticas à visão linear, neutra e salvacionista.

Quadro 1: Fases históricas e perspectivas sociais sobre a C&T

Período	Anos	Perspectiva
Otimista	1945-1955	Linear, neutra, benevolente, salvacionista e promotora do progresso social.
Conscientização	1955-1968	Emergência de alertas sobre os riscos e impactos da C&T na sociedade e no ambiente.
Crítica	1968-Atual	Questionadora e crítica da neutralidade da C&T e de suas implicações, fazendo eclodir o movimento CTSA.

Fonte: o autor, com base em Álvarez (2001), 2026.

Na periodicidade do Quadro 1, embora tais aspectos não estejam explicitamente apresentados, cabe mencionar que a compreensão do método científico sofreu inflexões relevantes ao longo dessas fases (Santos; Mortimer, 2002). No período otimista, por exemplo, predominava a posição metodológica/epistemológica indutivista⁴, fundamentada em sucessivas observações particulares para generalização dos fenômenos, um traço marcante do pensamento filosófico positivista⁵ (Chalmers, 1993; Silvino, 2007). Em contraposição a essa perspectiva, Atai, Akvan e Afra (2025, p. 89, grifo e tradução nossos) destacam a crítica formulada por Karl Popper ao afirmar que:

Na visão de Popper, o **método científico é o das conjecturas e refutações**, não o da indução e das certezas. A falseabilidade significa que somente a experiência tem o poder de demonstrar a falsidade das teorias empíricas, mas não a sua veracidade. Isto contrasta com o que se segue à abordagem positivista, que busca explicar o que existe em qualquer campo sem fazer julgamentos de valor sobre o que deveria existir.

Como visto, Popper propõe o falsificacionismo⁶ e o método hipotético-dedutivo, que valorizam a testabilidade e a provisoriidade do conhecimento científico, em oposição ao

De acordo com Chalmers (1993, p. 21-65):

⁴ Na concepção indutivista (p.27): “[...] é possível *generalizar* a partir de uma lista finita de proposições de observação singulares para uma lei universal”.

⁵ No positivismo (p.21): “[...] as teorias não apenas devem ser justificadas, na medida em que podem ser verificadas mediante um apelo aos fatos adquiridos através da observação, mas também são consideradas como tendo *significado* apenas até onde elas possam ser assim derivadas.”

⁶ No falsificacionismo (p.65): “[...] a observação é orientada pela teoria e a pressupõe. Ele também abandona com alegria qualquer afirmação que fazem supor que as teorias podem ser estabelecidas como verdadeiras ou provavelmente verdadeiras à luz da evidência observativa.”

positivismo lógico predominante na primeira metade do século XX. Contudo, tais concepções passam a ser posteriormente questionadas por outros filósofos da ciência. Nesse contexto, Kuhn e Lakatos enfatizam os condicionantes históricos e estruturais que orientam o desenvolvimento científico, em contraste com a lógica popperiana centrada em refutações pontuais. Sobre essas ideias, Rufatto e Carneiro (2009, p. 272, grifo nosso), pontuam que:

[...] Lakatos e Kuhn se aproximam, adotando um ponto de vista em que as teorias são avaliadas ao longo de todo o processo, **não havendo, portanto, experimentos cruciais que pudessem, isoladamente, refutar uma teoria. Ao invés disso, as teorias seriam avaliadas pela sua capacidade de gerar problemas novos** e aumentar o seu conteúdo, o que conduziria, inevitavelmente, a uma avaliação de longo prazo [...]

Verifica-se, portanto, o rompimento com a lógica imediatista atribuída a Popper, ao reconhecer que teorias científicas não são simplesmente abandonadas diante de uma única anomalia empírica, mas avaliadas a partir de sua capacidade de gerar novos problemas, ampliar seu conteúdo explicativo e orientar investigações futuras. Este domínio filosófico indica que a formulação e a validação das teorias científicas demandam avaliações de longo prazo, são influenciadas por fatores teóricos, históricos e metodológicos, e não apenas por critérios estritamente lógicos, ou empíricos.

Dessa maneira, cada período apresentado — otimista, de conscientização e crítico — é marcado por acontecimentos históricos, filosóficos e sociais distintos; não obstante, é o período de crítica ao cientificismo⁷ que assume maior relevância para este estudo, visto que o campo CTSA começa a se expandir em meados da década de 70.

Essa expansão, no entanto, não se limita ao aumento de produções ou abordagens, mas revela o caráter vasto e polissêmico do campo CTSA, que passa a incorporar elementos políticos (Costa, 2025); epistemológicos (Oliveira; Silva; Tereza, 2023); interdisciplinares (Teixeira; Fonseca; Santos, 2024); filosóficos (Cardoso; Caluzi; Santos 2020); sociológicos (Amuchastegui; Birch; Kaltenbrunner, 2023); e educacionais (Alves; Neto, 2025).

No que tange este último elemento, o enfoque CTSA “trata-se de uma perspectiva curricular que valoriza a problematização, a interdisciplinaridade e a articulação entre teoria e prática” (Pereira; Hussein, 2025, p. 04). Além disso, “tem colaborado para que a educação científica se consolide no propósito de formação para a cidadania” (Santos, 2011, p. 22).

De fato, o pleno engajamento cívico pressupõe a participação ativa dos sujeitos em processos de tomada de decisões informadas e conscientes, aliadas ao desenvolvimento de um

⁷ Para Chassot (2003, p.94) é a “crença exagerada no poder da ciência e/ou atribuição à mesma de fazeres apenas benéficos”.

posicionamento crítico diante de acontecimentos que permeiam realidade social. Para tanto, torna-se essencial que o indivíduo seja capaz de realizar uma leitura crítica do mundo, mobilizando conhecimentos e reflexões que lhe permitam propor soluções para problemas advindos das interações CTSA (Santos; Mortimer, 2001;2002; Pedretti; Nazir, 2011; Kauano; Maradino, 2022).

Em outras palavras, observa-se um consenso entre autores como Chassot (2003), Lorenzetti (2021), Sasseron e Orofino (2025) quanto à importância da promoção da alfabetização científica e tecnológica (ACT), que será discutida mais adiante, para a constituição de uma cidadania mais crítica e engajada, uma vez que esse processo contribui diretamente para o aprimoramento da capacidade de tomada de decisões informadas. Desse modo, esse entendimento converge com os pressupostos da Educação CTSA anteriormente aludidos. Aliás, Pedretti e Nazir (2011, p. 604, tradução nossa) também advogam que:

Embora se possa argumentar que se tratam de movimentos diferentes, defendemos que todos reconhecem a importância de uma conceitualização ampla da alfabetização científica, que inclua a tomada de decisões informadas; a capacidade de analisar, sintetizar e avaliar informações; as perspectivas da natureza da ciência (NdC); a integração da ciência, da ética e do raciocínio moral; e a capacidade de ação. Em nossa visão, esses são os princípios fundamentais da educação em CTS [...]

Reforçando este encadeamento, Santos e Mortimer (2002, p. 5, grifo nosso), explicam que a ACT se configura como eixo estruturante da Educação CTSA. Para os autores,

[...] o objetivo central da educação CTS é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando os alunos a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões.

Apesar disso, ao ler este objetivo admite-se que, em um contexto marcado por avanços do negacionismo científico, evidenciado tanto pela disseminação de concepções equivocadas, como aquelas propagadas por grupos antivacina durante a pandemia da COVID-19 (Galhardi *et al.*, 2022), e por defensores do terraplanismo (Albuquerque; Quinan, 2019), quanto pela negação da existência do aquecimento global e dos impactos danosos das mudanças climáticas (Oreskes; Conway, 2019), a promoção da ACT se configura como uma tarefa complexa.

Ademais, frisa-se que os debates políticos permeados por polarizações e extremismos (Borba; Ribeiro; Fuks, 2024), assim como as resistências à implementação de uma transição energética justa, democrática e decolonial (Aedo, 2023), frequentemente sustentadas por interesses estratégicos de grandes potências mundiais, como Rússia e Arábia Saudita, líderes da Opep+, na manutenção do petróleo e de seus derivados (Sauer, 2024), ampliam os desafios para a efetivação da ACT, sobretudo no EC.

Por essa razão, a mera transmissão de conhecimentos, sem a devida contextualização curricular e sem a incorporação de temáticas relacionadas a questões sociocientíficas (QSCs)⁸ e ambientais, é caracterizada por González, López e Luján (1996) como um simples “enxerto CTSA”. Por outro lado, quando o EC está efetivamente consubstanciado a essa abordagem, o mesmo rompe com o tradicionalismo⁹ conteudista, promovendo aprendizagens mais integradas e socialmente contextualizadas ao cotidiano do aluno (Aikenhead, 1994). Em suma, Martínez Pérez (2012, p. 160), impulsionado por essa premissa, garantem que a:

“Abordagem de temas CTSA”, oferece maiores possibilidades para pensar as limitações do ensino tradicional de Ciências, que é reduzido à transmissão de conteúdos disciplinares. À medida que sejam trabalhados aspectos sociais e ambientais da ciência e tecnologia, emerge a necessidade de articular conhecimento das Ciências Sociais com os das Ciências da Natureza. Assim, é possível construir um espaço pedagógico enriquecedor e motivador para que estudantes e professores compreendam os conceitos da ciência, bem como suas implicações socioambientais em contextos globais e locais.

Ainda sobre esse assunto, Santos e Mortimer (2002) propõem, com base na literatura da área, diferentes estratégias de ensino e atividades metodológicas no enfoque CTSA, visando ao desenvolvimento de atitudes e habilidades que favoreçam a tomada de decisões pelos estudantes. Entre essas estratégias estão, a realização de debates, a discussão de controvérsias sociocientíficas, simulações, estudos de caso envolvendo problemas reais da sociedade, a construção de tecnologias, relatórios, apresentações orais, entre outras possibilidades.

No título dessa dissertação: “*Hidrogênio Verde na Formação Inicial de Professores de Química: Uma Estratégia de Ensino a partir da Educação CTSA*”, realça-se a busca por fomentar um estudo de caso que inclui algumas dessas estratégias, tais como: debates, discussões em grupo, construção e aplicação de um protótipo, planos de aula com apresentação, relatórios experimentais, etc.

Perante a esse preâmbulo, é elementar explorar as vertentes regionais mais difundidas, para compreender as particularidades e contribuições de cada contexto; nomeadamente, têm-se a europeia, a norte-americana e o pensamento latino-americano, cujas especificidades conferem sentidos próprios à abordagem CTSA.

⁸ Conforme Conrado e Nunes-Neto (2018, p. 15): “[...] são problemas ou situações controversas e complexos, que podem ser transpostos para a educação científica, por permitir uma abordagem contextualizada de conteúdos interdisciplinares ou multidisciplinares, sendo os conhecimentos científicos fundamentais para a compreensão e a busca de soluções para estes problemas”.

⁹ Caracteriza-se por uma concepção de ensino centrada na figura do professor como detentor e transmissor do conhecimento, na valorização da memorização e da repetição de conteúdos e na compreensão do aluno como sujeito passivo no processo de aprendizagem, estando fortemente associado a práticas escolares descontextualizadas e pouco problematizadoras (Libâneo, 1983; Saviani, 1979).

1.1.1 Vertente europeia

Essa tradição tem seu surgimento situado no início da década de 1970, estando fortemente vinculada aos estudos das Ciências Sociais, como a sociologia, a antropologia e a psicologia. Enfatizava-se a investigação sobre a origem do conhecimento científico e a própria natureza da Ciência, assumindo um viés predominantemente acadêmico, em detrimento de abordagens de cunho educativo ou voltadas à divulgação científica (Garcia; Cerezo; López, 1996; Cerezo 1998; Pinheiro; Silveira; Bazzo, 2009).

Registros na literatura indicam que a Universidade de Edimburgo, localizada na Escócia (Grã-Bretanha), como berço para sociologia do conhecimento científico. A fecundidade deste campo vem como uma reação a visão racionalista tradicional, tendo David Bloor como um de seus principais precursores, por meio do “programa forte” (1976-1991). Esse programa optou por reconhecer que o conhecimento é influenciado também por fatores humanos, e não apenas por critérios objetivos (Garcia; Cerezo; López, 1996; Palacios *et al.*, 2001). A figura 2, a seguir, descreve os quatro princípios norteadores que serviram de sustentação para este programa.

Figura 2: Princípios do “programa forte” da sociologia do conhecimento

Casualidade Uma explicação satisfatória de um episódio científico deve ser causal, isto é, deve focar as condições efetivas que produzem crenças ou estados de conhecimento.	Imparcialidade Deve ser imparcial em relação à verdade e falsidade, racionalidade e irracionalidade, sucesso ou fracasso. Ambos os lados dessas dicotomias exigem explicação.
Simetria Deve ser simétrico em seu estilo de explicação. Os mesmos tipos de causas devem explicar crenças falsas e verdadeiras.	Reflexividade Suas diretrizes explicativas devem ser aplicáveis à própria sociologia.

Fonte: adaptado de Palacios *et al.* (2001, p. 21, tradução nossa).

Para Bloor, a ideia de que crenças verdadeiras e racionais dispensam explicação causal, enquanto apenas o erro exigiria explicações sociais ou psicológicas, produz uma assimetria indevida. O “programa forte” se opõe a essa posição ao afirmar que todo conhecimento deve ser explicado de modo **causal**, isto é, por meio de condições sociais e históricas; de forma **imparcial**, sem privilegiar previamente a verdade ou a falsidade; de maneira **simétrica**, aplicando o mesmo tipo de explicação a crenças verdadeiras e falsas; e de modo **reflexivo**, estendendo esses princípios à própria sociologia do conhecimento. Assim, rejeitava-se a concepção do conhecimento científico como um domínio autônomo e autoexplicativo, despontando seu caráter social (Massoni; Moreira, 2020).

Nesse contexto, o movimento CTSA materializou-se, em diferentes cenários das nações europeias, sob essa compreensão da ciência como prática social situada. Na Bélgica, por exemplo, o movimento assumiu um caráter predominantemente ético; na Itália, foi concebido como uma disciplina escolar, voltada a utilizar a Ciência como instrumento para problematizar questões sociais; e, na Holanda, destacou-se pela forte preocupação com as questões ambientais (Rodrigues; Silva, 2022).

Na Inglaterra, por sua vez, o movimento voltou-se não apenas às ameaças ambientais, mas também aos aspectos industriais e econômicos da tecnologia, alcançando notoriedade por meio de projetos voltados à democratização do conhecimento científico e à sua difusão em universidades e escolas, especialmente entre estudantes pré-universitários, dentre esses projetos, podemos citar: *Science in Society*, *SISCON*, *SISCON-in-Schools* e *SATIS* (Cruz, 2001).

Dialogando com essas iniciativas britânicas e como uma extensão do “programa forte”, dois projetos merecem maior destaque. O EPOR (*Empirical Programme of Relativism*), associado a Harry Collins, que analisava controvérsias científicas para demonstrar o papel dos processos sociais na estabilização do conhecimento, despontando três contribuições centrais: (i) a flexibilidade interpretativa dos dados; (ii) o fechamento das controvérsias; e (iii) a relevância dos fatores sociais na ciência. Já o SCOT (*Social Construction of Technology*), uma variação do EPOR, foi desenvolvido por Pinch e Bijker, aplicando essa abordagem ao estudo da tecnologia, evidenciando como diferentes grupos sociais influenciam a definição e a consolidação de soluções técnicas (Palacios *et al.*, 2001; Pinheiro; Silveira; Bazzo, 2009).

Concomitantemente aos esforços europeus, os norte-americanos desenvolveram maneiras diferenciadas de analisar a ciência e a tecnologia em interação com a sociedade e o meio ambiente, ampliando o escopo na focalização do papel das práticas laboratoriais e das redes de conhecimento na construção e legitimação do saber científico.

1.1.2 Vertente norte-americana

Marcada por ativismos de ambientalistas, pelos movimentos de contracultura e pelas profundas desigualdades sociais das décadas de 1960 e 1970, a vertente CTSA na América do Norte, particularmente nos Estados Unidos e no Canadá, tinha como principal axioma a participação da população nas decisões que envolviam as políticas da C&T (Von Linsingen, 2007; Pinheiro; Silveira; Bazzo, 2009; Rodrigues; Silva, 2022).

No decorrer desse período, foram implementados projetos de grande envergadura tecnológica, tanto na América do Norte quanto em outras regiões do mundo. Exemplos emblemáticos incluem o Projeto Manhattan (1940–1946), que antecede esse contexto histórico,

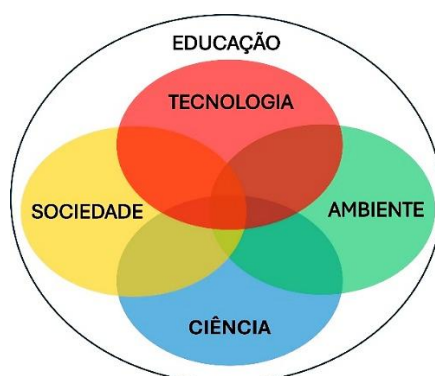
e o Projeto Apolo (1961–1972), representativo dessa fase de intensos avanços científico-tecnológicos (Pereira, 2023). Tais iniciativas contribuíram para conferir ao movimento CTSA um caráter mais pragmático e valorativo, discutidos por García, Cerezo e López (1996).

Foi só a partir da década de 1980 que a abordagem CTSA passou a ganhar maior projeção no contexto educacional, especialmente com o desenvolvimento do *Project Synthesis*, coordenado por Harms e Yager. Projeto esse de justificativas para a inserção de diretrizes no Ensino de Ciências, abrangendo estudantes entre 10 e 13 anos, e propondo quatro grupos de metas curriculares para as escolas estadunidenses: a ciência voltada às necessidades pessoais, às questões sociais, à escolha profissional e à formação de futuros cientistas (Cruz, 2001).

As conclusões do *Project Synthesis* evidenciaram que, até a década de 1970, as três primeiras metas eram pouco ou não contempladas no âmbito do EC, o que impulsionou a incorporação da abordagem CTSA nos currículos das escolas. Esse movimento foi fortalecido, principalmente, por incentivos financeiros da *National Science Foundation* (NSF), como o apoio concedido, em 1985, à Universidade da Pensilvânia para o desenvolvimento do projeto “*Science Through STS*” (Ciências através de CTS). Tais diligências subsidiaram importantes levantamentos e propostas de reforma curricular nos Estados Unidos, culminando na criação da *National Association for Science, Technology and Society* (NASTS), uma organização que passou a congrega pesquisadores, acadêmicos e estudantes da área (Cruz, 2001).

Paralelamente, considerando os pioneirismos de Rachel Carson em sua obra *Primavera Silenciosa*, conforme mencionado anteriormente, observa-se que as crescentes inquietações em torno das questões ambientais corroboraram para que o EC, sob o enfoque CTSA, fosse marcado por profundas reformas curriculares norte-americanas (Cerezo, 1998). No bojo dessas discussões, a Figura 3 ilustra uma conceitualização sistêmica, qualitativa, multidimensional e interconectada, descortinando como a educação se constitui como pano de fundo dessa integração (Zoller, 2013).

Figura 3: A Educação como eixo integrador das relações CTSA



Fonte: adaptado de Zoller (2013, p. 209, tradução nossa).

Outro ponto crucial da vertente norte-americana refere-se à notabilidade atribuída à democracia e à ética no contexto científico e tecnológico. A atuação pública nesses domínios era resguardada e apoiava-se em três argumentos fundamentais: 1) **instrumental**, que compreende a participação social como meio de reduzir resistências, ampliar a confiança pública e favorecer a aceitação das decisões; 2) **normativo**, que reconhece os cidadãos como legítimos representantes e defensores de seus interesses próprios; e 3) **substantivo**, que atribui a leigos e especialistas equidade na formulação de posicionamentos e na avaliação de questões C&T (Pinheiro; Silveira; Bazzo, 2009).

A participação social favorece o diálogo entre especialistas, gestores e cidadãos, mas envolve uma dinâmica complexa de interesses, influenciada por fatores como inserção social, acesso à informação, níveis de consciência e poderio econômico. Diante disso, foram definidos critérios que permitem avaliar as iniciativas de gestão pública no campo das políticas científicas e tecnológicas (Figura 4).

Figura 4: Parâmetros de avaliação da participação cidadã nas decisões científico-tecnológicas na gestão pública democrática



Fonte: o autor, com base em Palacios *et al.* (2001), 2026.

Indubitavelmente, esses critérios vinculam-se a uma dimensão democrática de caráter dialógico, a qual se contrapõe à perspectiva linear e hierarquizada. Esta última, estrutura-se a partir de uma relação verticalizada entre os atores sociais (cientistas e público em geral), na qual as decisões são tomadas de cima para baixo, conferindo aos cientistas o protagonismo nas deliberações relativas à C&T. Em contrapartida, a dimensão dialógica fundamenta-se na interlocução entre especialistas e não especialistas, de modo que o conhecimento científico deixa de ser concebido como fator limitante nas tomadas de decisão (Rosa; Strieder, 2018).

Rosa e Strieder (2018) também apontam uma terceira dimensão da democratização, denominada “produção conjunta e compartilhada de conhecimentos”, na qual, embora toda produção conjunta pressuponha o diálogo, nem todo processo dialógico resulta, necessariamente, em coprodução do conhecimento. Para as autoras, essa dimensão ultrapassa a mera interlocução, ao envolver a participação efetiva de atores sociais “não especialistas” desde a definição do problema até a construção das soluções, influenciando diretamente o processo investigativo. Trata-se, de uma perspectiva que ainda se apresenta como um desafio da atualidade, uma vez que pressupõe um processo coletivo, situado e orientado por problemas reais, no qual os saberes científicos e sociais se articulam de forma complementar.

Nessa direção, os coeficientes da democratização da C&T sinalizam para a ampliação dos espaços de participação social, indo além da consulta pontual e reconhecendo o pluralismo de atores, saberes e racionalidades envolvidos em processos decisórios. A valorização da participação direta, e de sujeitos historicamente afastados das instâncias de poder, tensiona modelos hierárquicos e tecnocráticos, além de defender decisões construídas pela coletividade, sensibilizando-se às realidades locais (Palacios *et al.*, 2001). Isto posto, abre espaço para compreensão da vertente latino-americana, colocando a justiça social como centro do debate.

1.1.3 Pensamento latino-americano

Na América Latina, o movimento CTSA teve suas origens na Argentina, a partir da atuação de professores universitários e pesquisadores das Ciências Naturais, como Amílcar Herrera, Jorge Sábato e Oscar Varsavsky, mobilizados em torno do chamado “projeto nacional”, que defendia a redefinição de metas e diretrizes para o desenvolvimento da C&T no país, consonante as demandas sociais e econômicas locais (Dagnino, 2008; Auler; Delizoicov, 2015).

Esse movimento emerge como uma reação à política hegemônica dos países do Hemisfério Norte, detentores do controle tecnológico, que exportavam produtos e soluções tecnocientíficas frequentemente orientadas por seus próprios interesses. Em contrapartida, os países latino-americanos, em grande medida, assimilavam tais tecnologias de forma acrítica, subvertidos as relações de dependência econômica (Roso; Auler, 2016).

Dessa maneira, nasceu o Pensamento Latino-Americano em Ciência-Tecnologia-Sociedade (PLACTS), como não aceitação a tendência por copiar os modelos hegemônicos, excludentes, e deletérios ao ambiente, transpostos pelos países desenvolvidos, principalmente do Hemisfério Norte no decurso das décadas de 60 e 70 do século passado (Auler, 2018).

No caso brasileiro, Chrispino e seus colaboradores (2013) apontam que as primeiras publicações no campo CTS/CTSA voltadas ao EC datam da década de 1990. Esse hiato gerou

disparidades entre as agendas de pesquisa do PLACTS e das demais vertentes, nas quais temáticas como transgênicos, mudanças climáticas e recursos naturais já vinham sendo trabalhadas anteriormente (Kreimer, 2014).

Por outro lado, pesquisadores brasileiros têm se empenhado em diversificar e conferir maior autenticidade às investigações no âmbito do PLACTS, tentando transmitir a identidade do Hemisfério Sul, do ponto de vista da (re)significação da educação CTSA latino-americana e da problematização de questões arrimadas à realidade local, amiúde, invisibilizadas pela ótica externa (Junior; Gehlen, 2023).

Imbuídos desse ideal, diversos estudos têm buscado aproximar o pensamento Freire-PLACTS e Freire-CTSA, como demonstrado nas pesquisas de Rosa e Strieder (2021), Schwan e Santos (2021) e Kauano e Marandino (2022), de modo a assimilar a “cultura da participação”¹⁰ para além de uma perspectiva monolítica, na qual não se analisam apenas os efeitos da C&T sobre a sociedade e o ambiente, mas também a retórica dos impactos da própria sociedade ou, mais especificamente, das elites, sobre os direcionamentos assumidos no desenvolvimento da C&T, em contraste com a “cultura do silêncio” (Auler, 2021).

Esta aproximação potencializa a compatibilidade dessas perspectivas com o pluralismo cultural e histórico, a diversidade de atores sociais, especialmente aqueles em situação de vulnerabilidade, e o reconhecimento da multiplicidade de conhecimentos construídos socialmente pelos componentes do bloco (Junior; Gehlen, 2023; Kauano; Marandino, 2022).

Cabe expor os principais pontos de convergência entre o pensamento freireano e o PLACTS, dentre os quais observa-se: a utilização de temas geradores associados a situações-problema; a concepção dialógica e problematizadora, em oposição ao modelo de educação bancária¹¹; o estímulo à leitura crítica do mundo; e, ainda que de forma não intencional nas formulações de Paulo Freire, a ampliação da contextualização curricular dos conteúdos abordados (Schwan; Santos, 2021).

A partir dessa interface do pensamento de Paulo Freire e o PLACTS, torna-se possível, neste momento, direcionar o olhar para os pilares que alicerçam a matriz latino-americana, consistindo em: ofertismo, vinculação, transferência de tecnologias e autonomia restringida.

Dagnino (1996), explica que as políticas de C&T adotadas em países latino-americanos, a partir do final da década de 1950, foram orientadas principalmente pelo pilar do ofertismo.

¹⁰ Cunhada na dialogicidade que promove consciência crítica e ação coletiva, em contraposição à cultura do silêncio, marcada pela negação histórica da voz e da participação de grupos oprimidos (Freire, 1977; 1987).

¹¹ Modelo pedagógico em que o educador deposita conteúdos nos educandos, tratados como sujeitos passivos, anulando o diálogo e a consciência crítica (Freire, 1977).

Nessa visão, acreditava-se que bastava produzir conhecimento científico e tecnológico nas universidades e institutos de pesquisa para que ele fosse automaticamente utilizado pelas empresas e gerasse desenvolvimento. No entanto, como o setor produtivo demonstrava pouco interesse em inovar, surgiu a proposta da vinculação, isto é, a tentativa de aproximar instituições de pesquisa e empresas. Essa estratégia partia da ideia de que a simples criação de protótipos e soluções tecnológicas seria suficiente para promover inovação e crescimento econômico.

Apesar dessas iniciativas, a estratégia foi enfraquecida pela forte dependência da transferência de tecnologias vindas do exterior, sobretudo por meio da importação de tecnologias prontas e da atuação de empresas transnacionais. Esse processo reduziu a necessidade de desenvolver tecnologias localmente e limitou a interação com os sistemas científicos nacionais. Nessa conjuntura, afluíu a noção de autonomia restringida, que não buscava independência tecnológica total, mas sim uma autonomia limitada a alguns setores considerados estratégicos, geralmente com forte apoio do Estado. Ainda assim, essa autonomia foi aplicada de forma pontual e isolada, sem conseguir conectar produção científica, setor produtivo e necessidades sociais, o que dificultou a construção de um projeto consistente de desenvolvimento da C&T na região (Dargino, 1996).

Finalmente, o PLACTS, diferentemente das vertentes europeia e norte-americana, ainda não alcançou ampla repercussão no campo educacional, e grande parte das abordagens no contexto latino-americano decorre da influência de tradições externas. Aliás, o PLACTS tem sido marginalizado pela literatura do Norte Global (Roso; Auler, 2016).

Assim, como fechamento para as discussões desta seção, apresenta-se um quadro comparativo das vertentes europeia, norte-americana e latino-americana do movimento CTSA, pontuando cinco diferenças elementares, propostas por Domiciano e Lorenzetti (2020, p. 4).

Quadro 2: Contraste entre as vertentes mundiais CTS/CTSA

Tradição europeia	Tradição americana	PLACTS
Institucionalização acadêmica na Europa (em suas origens)	Institucionalização administrativa e acadêmica nos EUA (em suas origens)	Institucionalização política e acadêmica na América Latina (em suas origens)
Ênfase nos fatores sociais antecedentes	Ênfase nas consequências sociais	Ênfase nas políticas públicas e economia
Atenção à ciência e, secundariamente, à tecnologia	Atenção à tecnologia e, secundariamente, à ciência	Atenção à ciência e tecnologia
Caráter teórico e descritivo	Caráter prático e valorativo	Caráter político e social
Marco explicativo: Ciências sociais (sociologia, psicologia, antropologia etc.)	Marco avaliativo: ética, teoria da educação	Marco reflexivo: Ciências Sociais (sociologia, antropologia, economia, administração)

Fonte: Domiciano e Lorenzetti (2020, p.4).

1.2 Estado da arte das energias renováveis na formação docente

Realizamos um levantamento bibliográfico sobre a formação inicial e continuada de professores de Ciências/Química em energias renováveis, o que nos permitiu traçar um panorama dos últimos 15 anos, compreendendo os anos de 2010 a 2025, entre teses e dissertações. Esta investigação adotou uma abordagem qualitativa, com finalidade descritiva, sendo tipificada como um estado da arte. Conforme Teixeira (2023, p. 6):

[...] são trabalhos dedicados a identificar, mapear, descrever e analisar – sobre múltiplas dimensões e aspectos, conforme o interesse da investigação –, o conjunto das pesquisas desenvolvidas em determinada área de conhecimento. Portanto, são estudos dedicados a investigar a dinâmica evolutiva das pesquisas dentro de uma área, em uma determinada região (país, continente etc.), conforme o recorte temporal definido para o levantamento dos trabalhos pertencentes ao escopo de interesse.

Diante dessas características, selecionaram-se cinco repositórios de ampla repercussão acadêmica no contexto ibero-americano: LA Referencia (América Latina), RCAAP (Portugal), Teseo (Espanha), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Catálogo de Teses e Dissertações da Capes (as duas últimas do Brasil). Em cada uma dessas bases de dados, adotou-se uma estratégia (*string*) de busca específica, ajustada às particularidades operacionais.

No Quadro 3, apresentam-se as *strings* de busca empregadas nas plataformas, em língua portuguesa e espanhola, bem como o quantitativo de registros verificados, de documentos recuperados e os filtros aplicados. A triagem inicial dos estudos ocorreu por meio da leitura dos títulos e resumos; posteriormente, procedeu-se à análise mais aprofundada dos materiais.

Quadro 3: Síntese de busca e registros nas bases de dados ibero-americanas

Base de dados	<i>Strings</i>	Total de Registros	Estudos incluídos	Filtros
 LA Referencia Red Latinoamericana y de España de Ciencia Abierta	“Formación de profesores de Química”	106	00	<i>Idioma: portugués y español; Tipo de recurso: tesis de maestría y tesis doctoral; Año de publicación: de 2010 a 2025.</i>
 TESEO	“Formación del profesorado de Química”	324	02	<i>Desde: 2010 y Hasta: 2025; Campo de estudio: Educación; Ciencias naturales, químicas, físicas y matemáticas.</i>
 rcaap fct	“Formação de professores de Química”	427	00	Data: 2010 a 2025; Tipo de documento: Dissertação de mestrado e Tese de doutoramento; Tipo de acesso: aberto.
 BDTD Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações	“Formação de Professores AND Química AND Energia”	56	02	Modo: busca avançada; Idioma: português e espanhol; Tipo de documento: teses e dissertação; Ano da publicação: 2010-2025.
 Catálogo de Teses e Dissertações		53	01	Tipo: Doutorado e Mestrado; Ano: 2010 a 2025;

Fonte: o autor, 2026.

Nos repositórios LA Referencia e Teseo, empregaram-se expressões em língua espanhola, visando ampliar a cobertura dos textos recuperados. Já nas bases RCAAP, BDTD e no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, utilizaram-se terminologias em língua portuguesa, sendo aplicado, nas bases brasileiras, o operador booleano *AND* entre os termos de busca. Além disso, a pesquisa foi realizada em abril de 2025.

Durante o processo de seleção da amostra, observou-se a predominância de trabalhos direcionados ao Ensino Fundamental e Médio. Em decorrência disso, os repositórios LA Referencia e RCAAP não apresentaram resultados. Logo, os cinco (05) trabalhos recuperados, estão catalogados no Quadro 4.

Quadro 4: Estudos incluídos no *corpus* documental de análise

ID	Ano	Título	Autor(a)	Local de Publicação	Repositório
T1	2010	Biodiesel na escola: uma ferramenta educacional para o planejamento energético	Fiscarelli, P. E.	Guaratinguetá (Brasil)	BDTD
T2	2013	La problemática energética como contexto de enseñanza-aprendizaje en la educación secundaria obligatoria: una experiencia con profesorado de ciencias en formación inicial	Gámez, C. M.	Málaga (Espanha)	Teseo
T3	2016	Do conhecimento à ação docente: o tema da energia em contexto CTS	Cruz, J.F.F.R.B.S.	Huelva (Espanha)	Teseo
T4	2017	O ensino de matriz energética na educação CTS: um estudo com práticas na formação de licenciandos da área de Ciências Naturais	Ramos, T. C.	Brasília (Brasil)	BDTD
D1	2023	Biocombustíveis além da Química: formação de professores no ensino de Ciências dentro da perspectiva CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente	Carvalho, F. L.	Espírito Santo (Brasil)	Catálogo da Capes

Legenda: ID = Identificação; T = Tese; D = Dissertação

Fonte: o autor, 2026.

Identifica-se através do Quadro 4, a presença de uma dissertação (D1) e quatro teses (T1, T2, T3 e T4), das quais apenas uma se encontra redigida em língua espanhola, embora a T3 tenha sido defendida na Universidade de Huelva, na Espanha. Adicionalmente, dentro do recorte temporal de quinze anos, apenas um lustro (cinco anos), equivalente a um terço do período analisado, apresentou publicações, enquanto que nos outros dez anos não houve registros que pudessem ser incluídos.

Os trabalhos T2, T3, T4 e D1 (80% do total analisado) estão vinculados ao arcabouço teórico CTS/CTSA, à exceção de T1, que se aproxima da perspectiva da aprendizagem significativa (AS), proposta por David Ausubel (1982). Além disso, T1 e T4 tiveram como público-alvo exclusivamente professores de Química, diferentemente dos demais estudos, que contemplaram professores de Ciências de uma maneira geral.

As pesquisas T1 e D1 dedicaram-se à formação continuada de professores, com foco na temática dos biocombustíveis, especialmente no biodiesel que é “obtido pela transesterificação de triglicerídeos, podendo ser utilizados como combustível alternativo para motores a diesel” (Fukuda; Kondo; Noda, 2001, p. 406, tradução nossa).

Nesse sentido, o primeiro estudo (T1) propôs a elaboração de uma cartilha destinada a profissionais da educação básica, além de um *kit* didático voltado ao ensino do biodiesel a partir de óleo residual ou virgem, com materiais de fácil acesso e de baixo custo. E como metodologia, adotou a Aprendizagem Baseada em Projetos (sigla em inglês PBL) (Fiscarelli, 2010).

Por conseguinte, a “espinha dorsal” do segundo estudo (D1) foi pautada no tripé constituído pela Alfabetização Científica (AC), pelas Questões Sociocientíficas (QSC) e pelas concepções freireanas, conferindo ao trabalho um viés interdisciplinar e crítico, caracterizado por discussões, reflexões e debates de natureza socioambiental (Carvalho, 2023). Portanto, tanto T1 quanto D1, empenharam-se em capacitar e instruir os docentes a saber trabalhar com o biodiesel em contextos escolares.

Todavia, as teses de doutorado T2, T3 e T4, exploraram a formação inicial de professores, sem se basear em um tipo de energia específico, ou na capacitação e instrução dos futuros profissionais do magistério. Ao contrário, esses estudos adotaram uma abordagem reflexiva e problematizadora, discutindo os padrões de consumo associados à matriz energética, as relações de poder existentes, o tecnicismo historicamente arraigado aos currículos e as crenças e percepções docentes acerca de sua própria prática pedagógica.

Ao se cruzarem os dados provenientes desses trabalhos de pós-graduação *stricto sensu*, foi possível identificar algumas tendências de pesquisa no campo da formação de professores de Ciências. No que se refere aos objetivos, observa-se a recorrente intencionalidade de identificar e analisar as crenças, percepções e concepções docentes, paralelamente promover a capacitação e o desenvolvimento profissional desses educadores.

Já em relação aos procedimentos metodológicos, nota-se uma tendência clara para a predominância da natureza qualitativa, e a classificação como pesquisa-ação e estudos de caso. Outrossim, quanto aos instrumentos de produção de dados, por sua vez, figuram-se com frequência, questionários, entrevistas, debates, seminários, experimentos laboratoriais, entre outros, transladados por percursos metodológicos que valorizam a participação ativa dos discentes como a PBL, aprendizagem colaborativa, e os 3MP.

Estas constatações foram esgrimidas no Quadro 5, no qual se sistematizam os objetivos gerais e os principais procedimentos metodológicos do *corpus* de interesse, permitindo uma visão panorâmica dos direcionamentos e da “fronteira do conhecimento” científico.

Quadro 5: Mapeamento de objetivos e métodos das produções incluídas

ID	Objetivos Gerais	Procedimentos metodológicos
T1	Pesquisar, conceber, propor e avaliar um <i>kit</i> didático que abordasse a produção de biodiesel (p. 21).	Pesquisa-ação de natureza quali-quantitativa, desenvolvida a partir da PBL, utilizando como instrumentos de coleta de dados questionários, análise documental, entrevistas estruturadas e grupos focais.
T2	Identificar as crenças de professores de Ciências em formação inicial acerca do ensino e da aprendizagem científica e, a partir delas, favorecer o desenvolvimento de concepções mais complexas, críticas e atualizadas, mediadas pela abordagem da problemática energética (p.70).	Pesquisa-ação de natureza qualitativa, com caráter formativo e interventivo, recorrendo-se a instrumentos como questionários, produções escritas, registros das atividades e discussões em grupo. Além da avaliação de livros didáticos, primando pela análise de controvérsias em torno da problemática energética, dialogando e debatendo sobre o que está posto.
T3	Identificar concepções e modelos de ensino em professores estagiários de Física e Química no âmbito da educação ambiental (p.69).	Estudo de caso de natureza qualitativa, com aplicação de entrevista semi-estruturada, além de aulas gravadas com transcrições e categorização das falas.
T4	Analisar sentidos de concepções críticas/reducionistas de inter-relações CTS na temática matriz energética (re)construídas por licenciandos da área de Ciências Naturais, durante encontros formativos com práticas no PIBID (p.32).	Perspectiva dual de pesquisa participante e estudo de caso, de natureza qualitativa, utilizando os 3MP como percurso metodológico. A investigação envolveu a aplicação de questionários, produções textuais, filmagens de discussões em grupo a realização de palestra ministrada pelo pesquisador, a apresentação de seminários pelos participantes e debates.
D1	Promover a formação de professores no enfoque CTSA, visando a integração do conhecimento científico, por meio de metodologias ativas, baseadas em temas geradores, em uma perspectiva de ensino interdisciplinar (p.19).	Pesquisa-ação de natureza qualitativa, que fez uso de experimentos, diários de bordo, questionários, registros fotográficos e análise de materiais produzidos ao longo da investigação. O tratamento dos dados foi realizado por meio da Análise Textual Discursiva (ATD), com o auxílio do <i>software Atlas.ti</i> .

Legenda: ID = Identificação; T = Tese; D = Dissertação

Fonte: o autor, com base em Fiscarelli (2010); Gámez (2013);

Cruz (2016); Ramos (2017); Carvalho (2023), 2026.

Como principais achados e contribuições da T1, constatou-se que a maioria dos professores reconheceu a articulação entre a produção de biodiesel e os conteúdos de Química abordados no Ensino Médio, além de considerar viável a utilização do *kit* didático proposto pela pesquisadora. Entretanto, uma parcela reduzida (14%) manifestou resistência ao uso do material, mantendo uma concepção mais restrita quanto à necessidade de empregar exclusivamente equipamentos e vidrarias convencionais de laboratório (Fiscarelli, 2010). Em suas considerações finais, a cientista salienta a necessidade de novas pesquisas.

Este trabalho buscou contribuir e elucidar alguns aspectos teórico-metodológicos da inserção do tema biodiesel como um elemento capaz de desencadear discussões sobre outros temas mais amplos como fontes de energia, meio-ambiente e sociedade. **Acredita-se que outras pesquisas possam ser desenvolvidas** utilizando-se a mesma abordagem de intervenção, porém **focalizando outros temas relevantes para tratar questões ligadas à produção, distribuição e consumo de energia do país** (Fiscarelli, 2010, p. 130, grifo nosso).

Sequencialmente, a T2, na avaliação realizada pelos partícipes acerca dos livros didáticos da Educação Básica, demonstra, nessas obras, a prevalência de textos de caráter descritivo, asséptico e supostamente neutro, nos quais os fatos são apresentados de forma expositiva, sem o devido aprofundamento crítico. Observa-se a ausência de problematizações que contemplem tensões, controvérsias e a explicitação de vantagens e limitações das diferentes matrizes energéticas. Ademais, aspectos relacionados ao consumo, à dependência e aos impactos socioambientais são subestimados e tratados de maneira bastante superficial, com maior ênfase conferida às fontes não renováveis nas seções dos capítulos (Gámez, 2013).

Ainda sobre T2, observa-se que a dimensão atitudinal e valorativa dos licenciandos, especialmente no que se refere à formação para uma cidadania ativa e responsável, ao desenvolvimento do pensamento crítico e à prática reflexiva, apresentaram avanços mais evidentes quando os participantes receberam a incumbência de elaborar estratégias didáticas voltadas ao ensino das questões energéticas. Foi nesse movimento, de planejamento e tomada de decisões pedagógicas, que tais competências se tornaram mais perceptíveis.

Gámez (2013) ressalta, ainda, a persistente resistência de professores da formação inicial em debater dimensões políticas e morais implicadas nas questões sociais e nos processos de tomada de decisão, o que se relaciona a uma compreensão ingênua do currículo e, por vezes alienada, precipuamente quanto à aspectos interdisciplinares e à contextualização. Apesar disso, ao longo do processo formativo, averíguam-se mudanças em determinados paradigmas, como por exemplo, a concepção do livro didático, que passou a ser encarado não mais como recurso obrigatório e exclusivo, mas como um entre os diversos instrumentos possíveis.

Por fim, a autora endossa como bastante profícua a organização de pequenos grupos para a elaboração de planos de aula, estratégia que favoreceu a reflexão sobre sua implementação em sala e, posteriormente, possibilitou a socialização e discussão de tais propostas entre os pares (Gámez, 2013).

. Os resultados apresentados na T3 indicam que as crenças e concepções dos professores influenciam diretamente em sua prática pedagógica, especialmente na forma como organizam as aulas, conduzem a participação dos estudantes e respondem às possíveis dúvidas vindouras. A análise das gravações dos encontros na disciplina dos três docentes revelou a maior incidência de um modelo tradicional de ensino, centrado no professor, com maior tempo destinado à exposição de conteúdos e ao desenvolvimento teórico, enquanto as atividades que favoreciam a participação ativa dos estudantes ocorreram em menor frequência (Cruz, 2016).

De igual modo, o estudo concluiu que o entendimento da prática docente se torna mais consistente quando se entrelaçam diferentes instrumentos de análise, integrando dados

quantitativos e qualitativos. Essa triangulação metodológica demonstra coerência entre os resultados e possibilita a elaboração de modelos interpretativos da ação docente (Cruz, 2016).

Já a T4 empenhou-se a desnaturalizar a ideia de que a simples redução do consumo exacerbado de produtos seria suficiente para enfrentar a problemática energética, revelando a necessidade de uma análise mais ampla e estrutural da questão. Em face disso, os licenciandos bolsistas do PIBID foram motivados a refletir criticamente sobre o modelo vigente de produção e consumo energético, compreendendo-o em suas inter-relações com a CTS. Como encaminhamento para investigações futuras, o autor pondera que “importa potencializar a participação dos sujeitos na constituição de um novo modelo produtivo”, pautado na “rejeição ao consumismo, à obsolescência programada e à descartabilidade” (Ramos, 2017, p. 273).

Por fim, na D1 foi proposta uma metodologia voltada à aprendizagem de biocombustíveis, com acentuação ao biodiesel, fundamentada na interação entre professores de diferentes disciplinas por meio de um fórum criado na plataforma *Moodle*. As discussões realizadas nesse ambiente, bem como as entrevistas conduzidas, foram transcritas e codificadas com o auxílio do *software* Atlas.ti e, posteriormente, submetidas à Análise Textual Discursiva (ATD). A proposta contemplou encontros síncronos e assíncronos. Cumpre acrescentar que, por meio de um curso de extensão com oito participantes, promoveu-se a capacitação docente e disponibilizou-se um produto educacional intitulado: “*Biocombustíveis além da Química*”, com o mesmo nome do curso e igualmente hospedado na plataforma *Moodle* (Carvalho, 2023).

Consoante o exposto, depreende-se com clareza a escassez de estudos sobre as ER tanto na formação inicial, quanto continuada de professores de Química, nos últimos anos. Apesar da suma importância do tema na atualidade. Esse déficit indica, dentre outros fatores, a necessidade de ampliar tais discussões, mormente diante do advento do papel das ER no enfrentamento das mudanças climáticas. Na subseção a seguir, será esmiuçada a prática do Ensino de Química, explorando suas inter-relações com referenciais curriculares no Brasil.

1.2.1 Docência em Química: relações com a BNCC e a BNC-Formação

A formação de professores constitui um campo fértil, tensionado por disputas políticas e, permeado por contínuas transformações e processos de (re)construção. A depender das concepções que a orientam e das práticas que a materializam, pode assumir dois direcionamentos antagônicos: a reprodução das estruturas sociais vigentes ou a promoção de processos emancipatórios e de resistência, que ultrapassem os limites da pedagogia neoliberal. A primeira via alinha-se à lógica capitalista de cunho tecnicista e pragmático, frequentemente

subordinada às diretrizes de organismos internacionais, como o Fundo Monetário Internacional (FMI), o Banco Mundial (BM), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), etc. O segundo direcionamento, por sua vez, prioriza uma formação crítica e dialógica, que empodera o professor a questionar as desigualdades e promover a autonomia dos alunos (Sandri; Gonçalves; Deitos, 2024; Cruz; Moura; Barbosa, 2024).

Dessa forma, corroborando com essa perspectiva emancipatória, é possível afirmar, na seara do Ensino de Química, o que defendem Adams, Siqueira e Moradillo (2022, p. 5):

O que se espera do ensino de Química é que ele seja capaz de transformar para melhor a vida da sociedade e dos alunos, humanizando-os e preparando-os para dominar as inovações científicas e tecnológicas, para lutar contra as mazelas e as desigualdades da sociedade reprodutora do capital, tornando-se sujeitos sociais atuantes, políticos e que busquem a emancipação humana.

Contudo, quando se evocam ideais como a humanização dos estudantes e sua preparação para compreender e dominar as inovações científicas, é preciso reconhecer que tais princípios não orientaram, em sua gênese, a organização da formação de professores de Química no Brasil. Inicialmente, essa formação foi estruturada segundo o formato 3+1, no qual os três primeiros anos eram destinados às disciplinas específicas da área e, apenas o último ano, às disciplinas de base pedagógica (Gonçalves; Peixoto; Vestena, 2023). Esse arranjo foi institucionalizado pela Lei nº 1.190, de abril de 1939, consolidando formalmente a separação entre conteúdos específicos e componentes didáticos (Brasil, 1939).

Este legado, cujos efeitos ainda reverberam na atualidade, fez amadurecer a crença de que para lecionar Química, ou qualquer outra ciência, seria suficiente o domínio dos conteúdos e conceitos específicos da área (Fernandez, 2018). Por outro lado, essa visão limitada sobre o ensino e a *práxis* docente precisa ser superada, é o que nos lembra Santos Neto (2023, p.55).

[...] a *práxis* docente pode ser definida como a transformação do mundo, da sociedade. É a modificação do ambiente de trabalho e da própria prática docente, do próprio ser, estar e fazer da docência. Então, as disciplinas pedagógicas, como didática, prática de ensino, estágios supervisionados e outras, são fundamentais para caracterizar e desenvolver no licenciando o exercício da profissão e possibilitar o distanciamento de um curso de bacharelado para uma licenciatura.

Nos anos subsequentes, os debates sobre a formação de professores ganharam novo fôlego, destacando-se algumas leis e resoluções, além de eventos que redefiniram o papel dos docentes na sociedade. Foi nesse cenário que, a partir da década de 1990, o marco legal Nº 9.394/1996 da Lei Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), passaram a pavimentar a formação inicial e continuada. A seguir, apresenta-se um compilado, no Quadro 6, desses referenciais normativos disponíveis no portal oficial do

Ministério da Educação (MEC) e da Legislação Federal¹², bem como os impactos intrínsecos aos acontecimentos nessa linha do tempo, descritos por Gonçalves; Peixoto; Vestena (2023).

Quadro 6: Principais marcos legais e eventos na formação de professores no Brasil

Ano	Tipo	ID	Especificações e Impactos
1939	Decreto-Lei	1.190	Dá organização à Faculdade Nacional de Filosofia Institui o modelo de formação docente “3+1”, com três anos de formação específica e um ano de formação pedagógica.
1961	Lei	4.024	Fixa as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (veto parcial) Passa a distribuir as disciplinas pedagógicas ao longo do curso de licenciatura, tentando integrar formação específica e pedagógica.
1964	Evento	—	Criação dos cursos de licenciaturas curtas Cursos instituídos em caráter emergencial pelo Conselho Federal de Educação (CNE), na pessoa do conselheiro Newton Sucupira, propondo a qualificação em menor tempo possível.
1968	Lei	5.540	Fixa normas de organização e funcionamento do ensino superior e sua articulação com a escola média, e dá outras providências Também conhecida como Reforma Universitária, reestrutura o ensino superior, alinhando a universidade às demandas do desenvolvimento econômico.
1971	Lei	5.692	Fixa Diretrizes e Bases para o ensino de 1º e 2º graus, e dá outras providências (LDB revogada) Consolida, as licenciaturas curtas (licenciaturas de 1º grau), obtido em curta duração, como requisito mínimo de professores do ensino de 1º grau.
1974	Resol.	Nº 30	Fixa os mínimos de conteúdo e duração a observar na organização do curso de licenciatura em Ciências Criação da figura do professor polivalente para o ensino de 1º e 2º grau em substituição da graduação plena em Química, Física e Biologia.
1984	Evento	—	Movimento de mudanças e ajustes econômicos, sociais e educacionais A formação de professores passa a integrar o debate das reformas educacionais, sem, contudo, constituir prioridade estrutural nas políticas públicas.
1996	Lei	9.394	Estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional (LDB vigente) Estabelece a licenciatura plena como requisito para docência na Educação Básica e prevê a criação das DCN para todos os cursos de Ensino Superior.
2002	Resol.	CNE/CP Nº1	Institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena Define princípios e fundamentos gerais para a organização curricular dos cursos de formação de professores.
	Resol.	CNE/CP Nº2	Institui a duração e a carga horária dos cursos de licenciatura, de graduação plena, de formação de professores da Educação Básica em nível superior Estabelece duração e carga horária mínima para os cursos de licenciatura (graduação plena).
2015	Resol.	Nº2	Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação inicial em nível superior (cursos de licenciatura, cursos de formação pedagógica para graduados e cursos de segunda licenciatura) e para a formação continuada Institui novas DCN para formação inicial e continuada de professores, revogando as Resoluções nº 1 e nº 2 de 2002.
2019	Resol.	CNE/CP Nº 2	Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e institui a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação) Aprova as DCN para a Formação Inicial de Professores e institui a BNC-Formação, alinhando a formação docente à BNCC.

Legenda: ID = Identificação; Resol. = Resolução.

Fonte: adaptado de Gonçalves, Peixoto e Vestena (2023), mediante sites oficiais do Governo Federal do Brasil.

¹² Sites da Legislação Federal Brasileira e do Ministério da Educação (MEC). Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/>>; <<https://portal.mec.gov.br/pet/323-secretarias-112877938/orgaos-vinculados-82187207/12861-formacao-superior-para-a-docencia-na-educacao-basica>>. Acesso em: 19 abr. 2025.

Os impactos da LDB assinalados no Quadro 6, agendaram o início do processo contínuo de reestruturação da formação docente. A LDB, também já estabelecia a previsão de uma base nacional comum para os currículos da Educação Básica, constituindo o fundamento jurídico que posteriormente respaldou a elaboração da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Esta, sendo homologada em 2017 para a Educação Infantil e o Ensino Fundamental e, em 2018, para o Ensino Médio. Tal diretriz encontra-se expressamente prevista no artigo 26 da referida Lei nº 9.394/1996, após sofrer alteração pela redação da Lei nº 12.796/2013.

Art. 26. Os currículos da educação infantil, do ensino fundamental e do ensino médio devem ter base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e em cada estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e dos educandos.

Como já havia uma expectativa de que se instituisse uma base nacional comum, a BNCC foi, de fato, pensada *a priori* com o objetivo de garantir equidade, reduzir desigualdades educacionais, democratizar o conhecimento e expandir o acesso à educação no país, definindo competências e habilidades como eixo normativo. Isso, é o que apontam Ripoll e sua equipe (2017), em seu parecer, quando exibem um trecho da introdução da versão 3 da BNCC, de abril de 2017, discutida também por outros especialistas em uma etapa de construção interna.

A adoção de um currículo único não é viável nem desejável em um país com as dimensões territoriais, diversidade cultural e desigualdades sociais como o Brasil. No entanto, a imprescindível promoção da melhoria da **qualidade** do ensino no país deve ser feita garantindo a **equidade** e, ao mesmo tempo, preservando a autonomia dos entes federados. Neste contexto, a adoção de uma base nacional curricular comum destaca-se como o instrumento mais adequado para alcançar esse propósito, ao assegurar a **unidade** nacional em meio à **diversidade** regional em estrito **respeito** à estrutura federativa da república brasileira (Brasil, 2017, versão 3, introdução, pp.2-3, grifo no original *apud* Ripoll *et al.*, 2017).

À sombra das esferas conceituais da desigualdade social e da estrutura federativa, supracitada, cabe levantar indagações: a BNCC, ao se assentar nas diretrizes da LDB, de fato catalisa/ou uma educação transformadora e equitativa, capaz de reconfigurar as estruturas sociais? Ou, ao contrário, se converteu, na prática, em um instrumento que reforça os interesses das classes dominantes, reproduzindo a lógica capitalista?

Diante disso, Saviani (2011, p. 72), sob o entendimento da Pedagogia Histórico-Crítica, sustenta: “A proposta de socialização do saber elaborado é a tradução pedagógica do princípio mais geral da socialização dos meios de produção”. A partir dessa premissa, a escola não deve se submeter às demandas imediatas do capital, mas garantir o acesso universal do saber. Do mesmo modo, Branco e colaboradores (2019) argumentam que a BNCC, ao priorizar o desenvolvimento de competências e habilidades, tende a mercantilizar a educação, limitando

preferivelmente o seu potencial emancipatório. Ou seja, se a BNCC, ao se inspirar na LDB, tivesse de fato priorizado a socialização emancipatória do saber, ela seria um instrumento de democratização, rompendo as desigualdades. Mas, ao priorizar competências e habilidades voltadas ao mercado, mesmo que de forma velada, ela reforça as hierarquias sociais.

Ao adotar esse enfoque, a BNCC indica que as decisões pedagógicas devem estar orientadas para o **desenvolvimento de competências**. Por meio da indicação clara do que os alunos devem “saber” (considerando a constituição de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores) e, sobretudo, do que devem **“saber fazer” (considerando a mobilização desses conhecimentos, habilidades, atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho)**, a explicitação das competências oferece referências para o fortalecimento de ações que assegurem as aprendizagens essenciais definidas na BNCC (Brasil, 2017, p. 13, versão final, grifo nosso).

Esse excerto do documento tonifica a tese de que, apesar da retórica da cidadania, as orientações para o currículo, ou melhor, a BNCC, acabam se alinhando a uma lógica produtivista, o que é uma das características centrais ao modelo de competências e habilidades (Branco *et al.*, 2019). Nesse mesmo fio condutor, concorda-se que “o papel do professor vem sendo ressignificado pelas reformas atuais, levando o docente a um papel de reprodutor da lógica de mercado, capaz de tornar natural o ideário da classe dominante” (Cruz; Moura; Barbosa, 2024, p. 18).

A Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação), promulgada pela Resolução CNE/CP Nº 2, de 20 de dezembro de 2019, está subordinada diretamente a BNCC, de modo que a formação inicial dos professores deve ser orientada pelas competências e habilidades estabelecidas na base da Educação Básica. Dessa forma, os licenciandos, ao longo de sua formação, precisam internalizar e desenvolver essas práticas e saberes esperados, promovendo uma *práxis* capaz de assegurar o desenvolvimento integral dos seus futuros alunos. Como é apresentado nos artigos 2º, 3º e 4º (Brasil, 2019, p.2):

Art. 2º A formação docente pressupõe o desenvolvimento, pelo licenciando, das competências gerais previstas na BNCC-Educação Básica, bem como das aprendizagens essenciais a serem garantidas aos estudantes, quanto aos aspectos intelectual, físico, cultural, social e emocional de sua formação, tendo como perspectiva o desenvolvimento pleno das pessoas, visando à Educação Integral.

Art. 3º Com base nos mesmos princípios das competências gerais estabelecidas pela BNCC, é requerido do licenciando o desenvolvimento das correspondentes competências gerais docentes.

Parágrafo único. As competências gerais docentes, bem como as competências específicas e as habilidades correspondentes a elas, indicadas no Anexo que integra esta Resolução, compõem a BNC-Formação.

Art. 4º As competências específicas se referem a três dimensões fundamentais, as quais, de modo interdependente e sem hierarquia, se integram e se complementam na ação docente. São elas:

- I - conhecimento profissional;
- II - prática profissional; e
- III - engajamento profissional

Essa exigência relativa às competências gerais docentes, tal como delineada no artigo 3º, adquire fulcral relevância quando analisada à luz da competência 7 da BNC-Formação, a qual explicita de modo mais contundente as expectativas quanto à atuação crítica e ética do futuro professor.

Desenvolver argumentos com base em fatos, dados e informações científicas para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns, que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental, o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta (Brasil, 2019, p.13).

Ao sistematizar o raciocínio baseado em fatos e dados científicos, essa competência requer uma postura reflexiva e sólida dos licenciandos. Isso, é essencial para a formação de profissionais do magistério em Química, que abordarão temáticas sobre as ER, a exemplo do hidrogênio verde, cujas implicações extrapolam o domínio estritamente técnico e alcançam outras dimensões. Assim, alinhar-se a essa competência, implica não apenas o fortalecimento da argumentação fundamentada, mas também a assunção de uma postura formativa comprometida com a construção de horizontes sustentáveis, sendo trivial para este trabalho.

A fim de aprofundar a relação entre a formação docente e o ensino das ER, foi elaborado o Quadro 7, que reúne competências e habilidades da BNCC voltadas ao ensino deste tópico. Embora a BNCC de 2018 apresente uma formulação mais sucinta, optamos por apresentar a versão completa das competências e habilidades, conforme descrita na BNCC de 2017, por considerar que ela oferece maior detalhamento¹³.

Quadro 7: Competências e habilidades selecionadas da BNCC para potencializar a discussão das ER na prática pedagógica de licenciandos em Química

Competência Específica 1: 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.
(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.
(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.
(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

¹³ As competências e habilidades estão descritas nas páginas 555 a 560 (Brasil, 2017) e 539 a 545 (Brasil, 2018), disponíveis no portal do Ministério da Educação (MEC), Brasil.

CONTINUAÇÃO

(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade.
Competência Específica 3: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).
(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.
(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

Fonte: adaptado de Brasil (2017, p.555-560).

No Quadro 7, estão dispostas apenas as competências específicas 1 e 3, uma vez que a competência 2 foi excluída, pois trata de questões biológicas, cosmológicas e de ecossistemas. Entre as competências selecionadas, atribuem-se quatro habilidades a 1 e duas a 3.

Dessa maneira, intensificam-se o diálogo com o mundo real e as possibilidades de análises e de intervenções em contextos mais amplos e complexos, como no caso das matrizes energéticas e dos processos industriais, em que são indispensáveis os conhecimentos científicos, tais como os tipos e as transformações de energia, e as propriedades dos materiais. Vale a pena ressaltar que, mais importante do que adquirir as informações em si, é aprender como obtê-las, como produzi-las e como analisá-las criticamente (Brasil 2017, p. 551).

Além disso, durante a organização dessas competências e habilidades apontou-se para um desafio emergente: a incipiente mobilização dos conhecimentos científicos em situações concretas do cotidiano. Para ilustrar esta lacuna, por exemplo, podemos citar a dificuldade de estimativa da eficiência de painéis solares instalados em uma escola, ou universidade, ou a avaliação do impacto ambiental do uso de determinados dispositivos, vinculados à cadeia de valor do H₂V, envolvendo sua síntese, armazenamento e transporte. Como tal, essa constatação corrobora a necessidade de a educação básica e superior, em especial na área de Ciências da Natureza, comprometida com a ACT da população.

Todavia, poucas pessoas aplicam os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos (como estimar o consumo de energia de aparelhos elétricos a partir de suas especificações técnicas, ler e interpretar rótulos de alimentos etc.). Tal constatação corrobora a necessidade de a Educação Básica – em especial, a **área de Ciências da Natureza – comprometer-se com o letramento científico da população** (Brasil, 2017, p. 547, grifo nosso).

Sublinhamos a demanda premente de uma formação inicial robusta para futuros professores de Química, que os capacite a integrar a ciência de forma crítica. No palco, do domínio científico aliado a transformação social. A partir daí nos dirigimos ao H₂V, examinando sua cadeia de valor, o capitalismo verde e o papel do Hub de hidrogênio instalado no Ceará.

1.3 Hidrogênio: antecedentes, características e propriedades físico-químicas

O primeiro registro relacionado ao hidrogênio é atribuído ao médico e iatroquímico Turquet de Mayerne (1573–1655), que obteve o gás a partir da reação entre limalha de ferro e óleo de vitríolo, embora seus manuscritos não tenham sido publicados até 1700. Em 1670, Robert Boyle descreveu a preparação e a coleta desse gás e, posteriormente, sua combustão. Contudo, a descoberta do hidrogênio como substância distinta é creditada a Henry Cavendish que, em 1766, publicou na revista *Philosophical Transactions* experimentos nos quais reagia metais, como o zinco, com ácido sulfúrico, identificando e caracterizando o que ele denominou de “ar inflamável” como um gás específico. Posteriormente, em 1788, Antoine Lavoisier atribuiu-lhe o seu nome de hidrogênio, do grego “hydro” (água) e “genes” (gerador) ao demonstrar que a água é formada pela combustão do hidrogênio com o oxigênio (Szydło, 2021).

Após a consolidação do hidrogênio como gás distinto por Cavendish e a sua nomeação por Lavoisier, Humphry Davy emergiu como uma figura de destaque na divulgação pública da Química. Por meio de suas célebres palestras no Royal Institution (Grã-Bretanha), Davy capturou o imaginário público. Conforme podemos ver na Figura 5, a caricatura de James Gillray revela o olhar travesso de Davy, que antecipa suas ousadas demonstrações com hidrogênio e oxigênio, as quais, com precisão, demonstraram a proporção volumétrica de dois para um (2:1). Suas palestras, como a registrada nessa caricatura, inspiraram gerações de cientistas (Szydło, 2021).

Figura 5: Caricatura de Humphry Davy em palestra do Royal Institution



Fonte: Recorte feito por Szydło (2021) da caricatura de Humphry Davy, gravura de James Gillray, 1802. Obra de domínio público no site da *Wikimedia Commons*. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Royal_Institution_-_Humphry_Davy.jpg>. Acesso em: 15 dez. 2025.

Davy (Figura 5), foi um dos fundadores da eletroquímica, uma subárea da Química, ao demonstrar que a eletrólise, por meio de pilhas voltaicas, podia decompor compostos em seus elementos. Ao isolar metais como sódio (Na) e potássio (K) por eletrólise, viabilizou a aplicação experimental da corrente elétrica em reações químicas e evidenciou a decomposição da água em hidrogênio e oxigênio, estabelecendo bases conceituais e técnicas para a síntese eletrolítica de hidrogênio e para o desenvolvimento posterior dos estudos em reações redox (Katz, 2021).

Com esses avanços eletroquímicos, a percepção do hidrogênio se alargou. No planeta Terra, o hidrogênio é o quarto elemento mais abundante, sendo o mais comum do universo. Assim, como a grande maioria dos elementos químicos, ele se encontra formando moléculas. A exemplo, temos a água (H_2O), essencial para existência de vida em nosso planeta (Bezerra, 2021). Quando encontrado em sua forma pura, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), ele está no estado gasoso, diatômico (H_2), incolor, inodoro e inflamável (RSC, 2015).

Em relação ao potencial energético do gás hidrogênio nas CNTP, seu poder calorífico inferior é de aproximadamente 120,0 MJ/kg, o que corresponde a cerca de 33,7 kWh de energia disponível por quilograma produzido. Quando comparado a combustíveis fósseis tradicionais, como o diesel ($\approx 45,6$ MJ/kg) e a gasolina automotiva ($\approx 46,4$ MJ/kg), observa-se que o hidrogênio apresenta um valor energético por unidade de massa significativamente superior, quase 3 vezes maior. Esse dado evidencia seu expressivo potencial como vetor energético sob a perspectiva gravimétrica, que considera energia por unidade de massa (Ni *et al.*, 2006; ABE, 2007). A Tabela 1 apresenta uma comparação entre diferentes combustíveis e seus respectivos conteúdos energéticos.

Tabela 1: Poder calorífico inferior dos combustíveis em MJ/kg

Combustível	Poder calorífico (MJ/kg)
Hidrogênio	120
Gás Natural Liquefeito	54,4
Propano	49,6
Gasolina de aviação	46,8
Gasolina automotiva	46,4
Diesel automotivo	45,6
Etanol	29,6
Metanol	19,7

Fonte: adaptado de Ni *et al.* (2006).

Todavia, quando o parâmetro é por unidade de volume, a situação muda. Porque, ao compararmos com os mesmos combustíveis fósseis (gasolina e diesel automotivos), vemos uma disparidade enorme, com o hidrogênio apresentando cerca de 3.190 à 3.650 vezes menos energia utilizável por litro do que gasolina e diesel (Wallington *et al.*, 2025). Se não, vejamos o comparativo na Tabela 2.

Tabela 2: Densidade energética volumétrica de combustíveis em MJ/L

Combustível	Densidade energética volumétrica (MJ/L)
Gás Hidrogênio	0,0098
Gás Metano	0,032
Gasolina automotiva	31,3
Diesel automotivo	35,8
Querosene de aviação	34,6
Combustível de navios	39,1

Fonte: adaptado de Wallington *et al.* (2025).

Com essa disparidade volumétrica tão expressiva, o hidrogênio, para ser transportado de forma viável, muitas vezes precisa ser liquefeito. Esse processo, no entanto, exige temperaturas criogênicas de -253°C e sistemas avançados de isolamento térmico, tornando-o bastante complexo e de custo elevado. Dessa forma, torna-se essencial buscar alternativas tecnológicas que tornem o armazenamento e transporte mais seguros, permitindo, assim, o uso mais amplo dessa fonte energética (Aziz, 2021; Xie *et al.*, 2024).

1.4 Cadeia de valor do hidrogênio verde e o conceito de eletrólise

A cadeia de valor do H₂V refere-se ao conjunto de etapas e processos que vão desde a produção do hidrogênio, a partir de fontes renováveis, até sua distribuição, armazenamento e aplicação final. Com foco em tecnologias limpas, essa cadeia busca maximizar a eficiência e a sustentabilidade, posicionando o H₂V como peça-chave na transição energética.

Para esclarecer o processo de obtenção do H₂V, segue o Quadro 8, que demonstra a taxonomia das cores do hidrogênio. O hidrogênio pode ser obtido de formas diversas, dependendo da separação de diferentes moléculas, e é categorizado por cores, de acordo com a rota tecnológica utilizada em sua produção.

Quadro 8: Taxonomia das cores do hidrogênio e sua abrangência no Brasil e no mundo

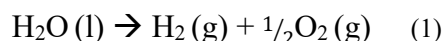
Cor	Classificação	Descrição	Abrangência	
			Brasil	Mundo
	Hidrogênio Preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS	Igual	
	Hidrogênio Marrom	Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS	Igual	
	Hidrogênio Cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS	Igual	
	Hidrogênio Azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), com CCUS	Igual	
	Hidrogênio Verde	Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar)	Igual	

CONTINUAÇÃO

	Hidrogênio Amarelo	Produzido via eletrólise da água com energia elétrica da rede	—	✓
	Hidrogênio Branco	Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico	Igual	
	Hidrogênio Turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂	Igual	
	Hidrogênio Laranja	Produzido a partir de resíduos plásticos por meio da gaseificação ou pirólise com CCS.	—	✓
	Hidrogênio Musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS	✓	—
	Hidrogênio Rosa	Produzido com fonte de energia nuclear	Igual	
	Hidrogênio Vermelho	Produzido em usinas de energia nuclear através da eletrólise-termoquímica	—	✓
	Hidrogênio Roxo	Produzido em usinas de energia nuclear através divisão catalítica da água em alta temperatura (ciclos termoquímicos)	—	✓

Fonte: adaptado de EPE (2021; 2025).

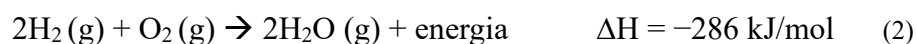
Dentre as diversas rotas de produção de hidrogênio, destaca-se a denominada categoria “verde”, em consonância com o foco deste estudo. Essa modalidade refere-se, especialmente, à produção por meio da eletrólise da água empregando energia elétrica proveniente de fontes renováveis, como a eólica e a solar. Este processo tecnológico, cuja reação global está representada na equação (1), configura-se como uma alternativa promissora por associar a geração de hidrogênio à redução das emissões de carbono para a atmosfera (EPE, 2021; 2025).



Processos não espontâneos de reações redox, produzidos a partir de fontes externas de energia elétrica, são denominadas reações de eletrólise e ocorrem em células eletrolíticas (Brown; Lemay; Bursten, 2005). A eletrólise caracteriza-se como um processo eletroquímico baseado na aplicação de uma diferença de potencial entre dois eletrodos imersos em uma solução eletrolítica (eletrólito). A passagem de corrente elétrica promove o fluxo de elétrons do ânodo (polo positivo) para o cátodo (polo negativo), desencadeando reações de oxidação e redução. Na eletrólise da água, ocorre a formação de bolhas de oxigênio (O₂) no ânodo e de hidrogênio (H₂) no cátodo. Os gases produzidos podem ser utilizados conjuntamente ou, mais frequentemente, separados para aplicações específicas (Hacha, 2016; Chatenet *et al.*, 2022).

Ainda, segundo Brown, Lemay e Bursten (2005), a produção direta de eletricidade a partir de combustíveis como H₂ (gás hidrogênio) e CH₄ (gás metano), por meio de uma célula voltaica, caracteriza o funcionamento das chamadas células a combustível. Embora não sejam propriamente baterias, pois não armazenam energia internamente, mas a geram continuamente enquanto houver suprimento de reagentes, esses sistemas destacam-se como tecnologias

promissoras por converterem energia química em energia elétrica de forma mais eficiente. No caso das células a combustível de hidrogênio, cuja reação global de combustão, equação (2), resulta na formação de vapor d'água (H₂O), livre de carbono, perfaz uma eficiência que pode ser aproximadamente duas vezes superior à dos melhores motores de combustão interna.



Normalmente, o hidrogênio obtido a partir da eletrólise da água apresenta elevado grau de pureza, o que favorece sua ampla aplicação em veículos elétricos e células a combustível. Contudo, um dos desafios associados a essa tecnologia reside na presença de vapor d'água, necessário para a adequada umidificação da célula, mas que pode provocar a corrosão de sistemas de compressão, transporte e armazenamento. Além disso, em condições de baixas temperaturas, a umidade pode condensar e congelar, comprometendo o funcionamento de válvulas e tubulações e reduzindo a confiabilidade operacional do sistema (Stafell *et al.*, 2019).

Porém, é importante destacar que, apesar das limitações mencionadas, as células a combustível vêm sendo utilizadas há décadas, o que evidencia sua relevância tecnológica e a necessidade contínua de aprimoramento e desenvolvimento de rotas mais eficientes. Nesse contexto, é fundamental distinguir células a combustível de eletrolisadores, pois, embora compartilhem componentes estruturais semelhantes e princípios eletroquímicos correlatos, os eletrolisadores utilizam energia elétrica proveniente de uma fonte externa para promover a decomposição da água e produzir hidrogênio. Já as células a combustível realizam o processo inverso, convertendo a energia química do combustível em energia elétrica por meio de reações eletroquímicas, frequentemente descritas como a eletrólise reversa da água (Lee, 2024).

Enquanto a eletrólise da água já é uma rota tecnológica consolidada, é importante também observar o hidrogênio branco. Apesar de ser extremamente abundante e de pesquisas recentes indicarem sua ocorrência natural em reservatórios situados em países como Mali, Turquia, Filipinas, Ucrânia, Marrocos, Austrália, Rússia, Alemanha, França e Brasil (na depressão circular na bacia de São Francisco em Minas Gerais, por exemplo), esse hidrogênio, ainda representa um enigma geológico, e sua exploração é complexa (Prinzhofer; Cisse; Diallo, 2018; ANP, 2024). Atualmente, a maior parte do H₂ utilizado para geração de energia é obtido por meio da síntese a partir de combustíveis fósseis, como carvão ou gás natural (Patonia, 2024).

E por falar nisso, a produção de hidrogênio alcançou 97 Mt (milhões de toneladas) em 2023, representando um crescimento de aproximadamente 2,5% em relação a 2022. Desse total, 63% foram provenientes da reforma do gás natural sem captura, utilização e armazenamento de CO₂ (*Carbon Capture, Utilisation and Storage* – CCUS), caracterizando o chamado hidrogênio

cinza. A produção associada ao carvão mineral sem CCUS, frequentemente classificada como hidrogênio preto ou marrom, respondeu por 20% do volume global. Em contraste, a produção por eletrólise da água permaneceu bem abaixo do esperado, inferior a 100 kt (mil toneladas), concentrando-se predominantemente na China (IEA, 2024a).

Durante a fase de expansão do mercado de hidrogênio verde, rotas de hidrogênio de baixo carbono, como o azul, turquesa e laranja, com CCS (*Carbon Capture and Storage*) e CCUS, são consideradas alternativas transitórias, desde que atendam a critérios rigorosos de desempenho climático. Conforme o relatório da *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2024), para serem compatíveis com os padrões da União Europeia, essas rotas devem respeitar o limite máximo de 3,4 kg de CO₂ equivalente por Kg de H₂ produzido, calculado com base em análise do seu ciclo de vida. Esse parâmetro representa uma redução significativa em relação ao hidrogênio fóssil convencional e demarca que a estratégia europeia prioriza a intensidade real de emissões de carbono, e não apenas a classificação por “cor” do hidrogênio.

1.4.1 Rotas tecnológicas de síntese

As sínteses do H₂V têm eletrolisadores como égide tecnológica, pois são nesses dispositivos que se viabiliza a conversão da água em hidrogênio mediante o fornecimento de energia elétrica proveniente de fontes renováveis. Os eletrolisadores são sistemas eletroquímicos nos quais ocorrem simultaneamente a reação de evolução do hidrogênio (sigla inglesa HER), decorrente da redução no cátodo, e a reação de evolução do oxigênio (sigla inglesa OER), associada à oxidação no ânodo. Estruturalmente, são compostos por eletrodos recobertos por catalisadores, um separador e canais de fluxo, possibilitando a produção de hidrogênio de elevada pureza por meio da eletrólise da água (Riaz *et al.*, 2025).

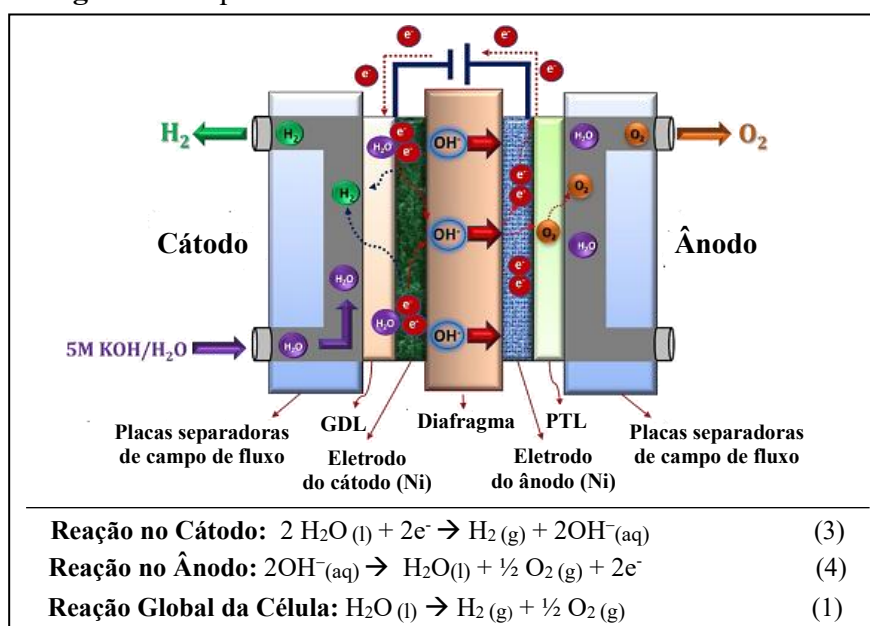
Trivialmente, distinguem-se quatro principais tipos de eletrolisadores, classificados conforme as condições e temperaturas de operação, o material empregado como eletrólito e os íons transportados pelo separador. São eles: o eletrolisador alcalino (AWE – *Alkaline Water Electrolyser*), membrana de troca protônica (PEM – *Proton Exchange Membrane*), o de óxido sólido (SOEC – *Solid Oxide Electrolyser Cell*) e o de membrana de troca aniônica (AEM – *Anion Exchange Membrane*). Essas classificações são constitutivas para entender as diferentes eficiências, custos, durabilidade e condições operacionais de cada tecnologia (Shiva Kumar; Lim, 2022; Riaz *et al.*, 2025).

O primeiro tipo de eletrolisador a ser detalhado é o alcalino (AWE). Ele é caracterizado por utilizar uma solução alcalina como eletrólito, geralmente o hidróxido de potássio (KOH) e/ou hidróxido de sódio (NaOH), numa concentração de 25 a 40%, pH $\approx$ 14, operando em

temperaturas moderadas (70-90°C) e com custos relativamente baixos. Apesar disso, sua eficiência energética tende a ser um pouco inferior a outros tipos (50-78%), mas sua durabilidade e confiabilidade em larga escala são pontos fortes (Shiva Kumar; Lim, 2022; Chatenet *et al.*, 2022; Riaz *et al.*, 2025).

Na sequência, apresenta-se a Figura 6, que ilustra a estrutura interna do AWE. A partir dessa estrutura, analisamos as reações que ocorrem em cada eletrodo. No cátodo, a água (H₂O) sofre redução, recebendo elétrons e formando hidrogênio gasoso (H₂), conforme a equação (3). No ânodo, os íons hidroxila (OH⁻) são oxidados, liberando elétrons e produzindo oxigênio gasoso (O₂) e H₂O, de acordo com a equação (4). A separação entre os eletrodos é realizada por um diafragma, anteriormente constituído de amianto (atualmente em desuso devido à sua toxicidade), sendo hoje empregados materiais como Zirfon® e Níquel, que permitem a condução seletiva de íons OH⁻ e evitam a mistura dos gases formados (Shiva Kumar; Lim, 2022; Riaz *et al.*, 2025). Ressalta-se que a reação global, já apresentada na equação (1), é comum a todos os tipos de eletrolisadores discutidos. Por essa razão, optou-se por reiterá-la na descrição dos demais sistemas, a fim de favorecer a organização textual.

Figura 6: Esquema de funcionamento do eletrolisador alcalino



Fonte: adaptado de Shiva Kumar e Lim (2022, p.13798, tradução nossa).

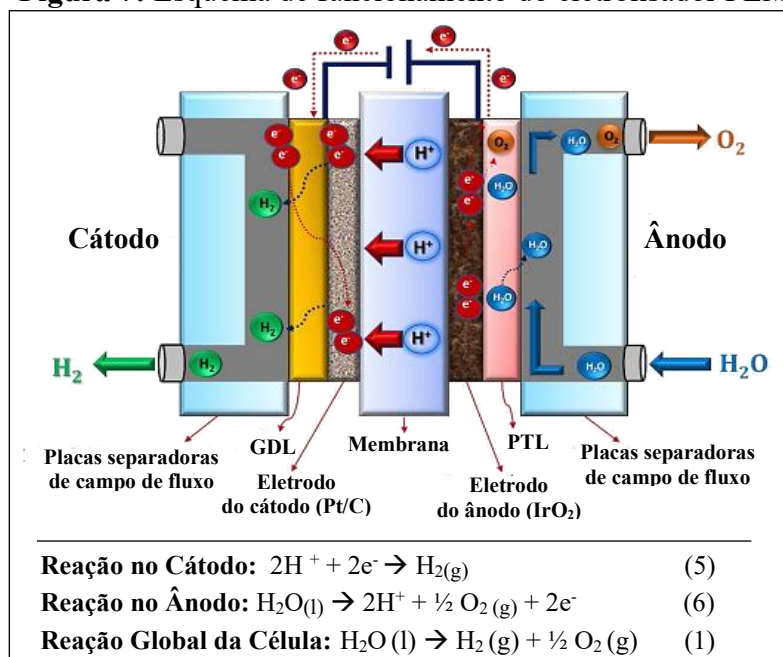
Dando continuidade ao sistema descrito (Figura 6), é importante também destacar o papel das camadas internas no AWE. A camada de difusão gasosa, ou GDL (*Gas Diffusion Layer*), permite que o hidrogênio e o oxigênio gerados se difundam de forma uniforme, garantindo uma liberação homogênea dos gases. Já a camada de transporte porosa, ou PTL (*Porous Transport Layer*), auxilia na condução eficiente dos íons, conectando o movimento dos

mesmos entre os eletrodos. Dessa forma, o GDL e o PTL trabalham em conjunto, otimizando tanto a difusão dos gases quanto o transporte dos íons, o que aumenta a estabilidade do processo, sendo importante não somente para AWE, mas para os demais dispositivos PEM, SOEC e AEM (S. Aminaho; N. Aminaho; F. Aminaho, 2025).

O eletrolisador PEM, ou membrana de troca protônica, opera com um eletrólito ácido, sendo comumente o ácido sulfúrico (H_2SO_4), ou ácido clorídrico (HCl). Atualmente, o mais utilizado é o ácido sulfonado de polifenileno (PFSA) em concentrações típicas de 0,5 a 1 molar. A faixa de pH ácido desse sistema varia, geralmente entre 0 e 2. Operando em temperaturas relativamente baixas (50-80 °C). E, em termos de custo, o PEM costuma ser caro, devido à materiais mais nobres e escassos em sua estrutura (eletrodos de óxido irídio- IrO_2 e carbono de platina- Pt/C), além da complexidade do sistema (Sun; Hsiau, 2018; Shiva Kumar; Lim, 2022).

O funcionamento do PEM baseia-se na dissociação da água quando uma corrente elétrica é aplicada aos eletrodos. No cátodo, ocorre a reação de redução, em que prótons de hidrogênio (H^+) recebem elétrons, formando gás hidrogênio (H_2). No ânodo, ocorre a reação de oxidação, liberando elétrons e formando gás oxigênio (O_2). A separação entre esses gases é facilitada pela membrana de Nafion®, um polímero amplamente utilizado, cuja estrutura se assemelha à do Teflon. O Nafion® conduz H^+ , permitindo uma eficiente separação iônica na solução eletrolítica. A condutividade protônica do Nafion® é crucial para o desempenho do sistema, garantindo eficiência no transporte de íons (Ghosh; Sharma; Pandey, 2025). O esquema do funcionamento do PEM é ilustrado na Figura 7, permitindo a melhor visualização do processo, bem como das reações no cátodo, equação (5) e, no ânodo, equação (6).

Figura 7: Esquema de funcionamento do eletrolisador PEM



Fonte: adaptado de Shiva Kumar e Lim (2022, p.13803, tradução nossa)

A eficiência energética desse tipo de eletrólise varia de 50 a 83%, o que a coloca em uma faixa intermediária em comparação com outros métodos. Quanto à durabilidade, o PEM é considerado longo, apresentando ciclos de vida útil na casa de 60.000 horas, embora sua performance dependa bastante da pureza do eletrólito e do controle da temperatura. Os eletrodos são fabricados para resistirem à corrosão, principalmente em meio ácido, além da alta condutividade elétrica (Shiva Kumar; Lim, 2022; Price, 2017).

Além das características já citadas, o PEM também é proeminente por sua capacidade de operar com alta pureza de hidrogênio, sendo capaz de atingir concentrações superiores a 99%, o que é essencial para aplicações industriais. Outro ponto importante é a compatibilidade com células a combustível, permitindo a integração direta na produção de energia. Somado a isso, o PEM vem sendo estudado em sistemas de larga escala, como aplicações móveis, devido à sua leveza e flexibilidade, sendo um diferencial em transportes sustentáveis, como veículos elétricos de passageiros ou até em drones de carga (Kumar; Humbindu, 2019).

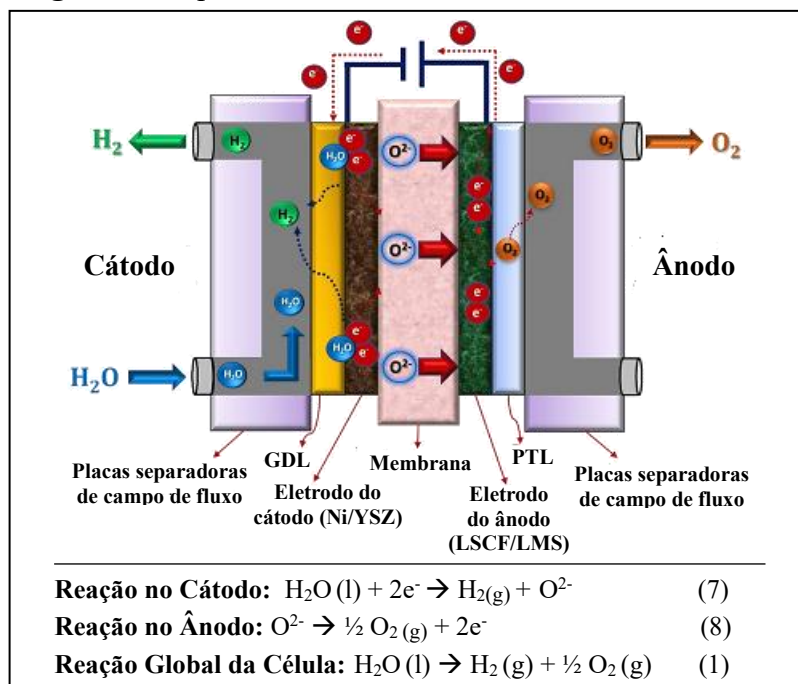
Em contraste com o PEM, o eletrolisador SOEC opera em uma faixa de temperatura mais elevada (700-850°C), utilizando como eletrólito um óxido sólido, *Ytria-Stabilized Zirconia* – YSZ (Zircônia Estabilizada com Ítria), o que permite maior eficiência (89% em laboratório) sob temperaturas mais altas. Os eletrodos costumam ser feitos de matriz cerâmica de YSZ, com fase metálica de níquel (Ni/YSZ), ou materiais compósitos peroviskíticos (LSCF, LSM), (La, Sr, Co, Fe), (La, Sr, Mn), projetados para ter uma boa estabilidade físico-química, isto é, suportar ambientes oxidantes, tendo uma baixa expansão térmica e boa condutividade iônica (Shiva Kumar; Lim, 2022; Liu *et al.*, 2024).

Além disso, o SOEC possui variações como (FA-SOEC) que tem a capacidade de co-processamento de combustíveis. Diferente de outras tecnologias, essa funciona não apenas com vapor de água, mas também com misturas de dióxido de carbono (H_2O/CO_2), possibilitando a produção simultânea de hidrogênio e monóxido de carbono, ou em sua terminologia inglesa *syngas*. Essa versatilidade torna o SOEC uma tecnologia-chave na transição energética, permitindo não só a geração de hidrogênio de baixo carbono, mas também a conversão de CO_2 em insumos industriais e combustíveis renováveis, como querosene sintético e metanol, aumentando o potencial de aplicação dessa tecnologia em processos industriais e, assim, contribuindo para descarbonização de setores energéticos estratégicos (Zong *et al.*, 2024).

Essa capacidade de co-processamento, aliada ao seu funcionamento básico permite ao SOEC operar de forma robusta, realizando a separação da água em H_2 e O_2 , por meio de reações que ocorrem nos eletrodos. No cátodo, a água é reduzida, equação 7, liberando gás hidrogênio (H_2) e íon óxido (O^{2-}). Já no ânodo, equação 8, ocorre a oxidação do íon óxido, formando gás

oxigênio (O_2). Esse processo é viabilizado por uma membrana cerâmica, também composta por YSZ, que permite a condução de íons O^{2-} , mas impede a mistura de gases (Shiva Kumar; Lim, 2022; Liu *et al.*, 2024). Para compreender melhor esse processo, convido você a observar o esquema de funcionamento do SOEC, que está representado na Figura 8.

Figura 8: Esquema de funcionamento do eletrolisador SOEC



Fonte: adaptado de Shiva Kumar e Lim (2022, p.13808, tradução nossa).

Assim, após a compreensão do funcionamento do eletrolisador SOEC, passa-se à análise do eletrolisador de membrana aniônica (AEM). O AEM diferencia-se por apresentar características híbridas, pois combina uma das principais qualidades do PEM: o uso de uma membrana polimérica condutora de íons, porém voltada à condução de ânions (OH^-), com a robustez estrutural e o menor custo de materiais típicos do eletrolisador alcalino, que emprega eletrólito básico, como NaOH ou KOH. Nesse sistema, a concentração do eletrólito geralmente gira em torno de 1 M, operando em uma faixa de pH entre 12 e 14, condição que favorece a estabilidade do processo eletroquímico (Miller *et al.*, 2020; Shiva Kumar; Lim, 2022)

Ademais, o uso do DVB (divinilbenzeno) como suporte para o polímero do eletrólito confere uma estrutura reticulada, proporcionando maior estabilidade, isto é, menor inchaço, que consistiria na absorção excessiva de líquido pelo polímero, mas de outro modo possui maior eficiência na condução dos ânions, mesmo estando em meio alcalino, que poderia ser um impedimento (Xu *et al.*, 2021; Shiva Kumar; Lim, 2022).

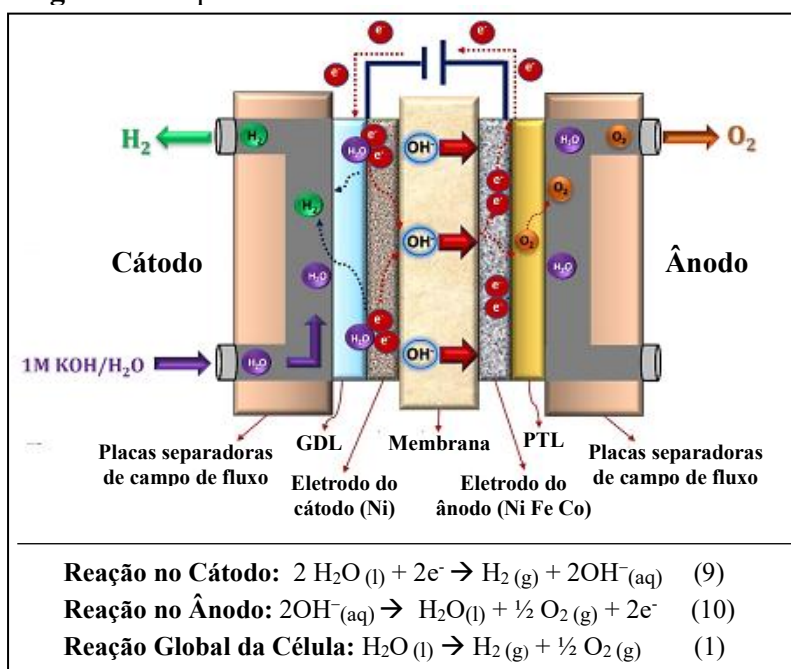
Adicionalmente, a temperatura típica de operação situa-se entre 40 e 60 °C, o que representa uma vantagem em termos de demanda energética e requisitos de materiais.

Entretanto, a eficiência do AEM ainda se mostra inferior à dos demais tipos de eletrolisadores, com valores reportados em torno de 57 a 59%, o que indica a necessidade de avanços tecnológicos para que essa configuração se consolide como alternativa competitiva na produção de H₂V (Shiva Kumar; Lim, 2022).

No que tange às reações eletroquímicas, no cátodo ocorre a redução, equação 9, na qual os íons hidróxido (OH⁻) recebem elétrons, formando H₂. No ânodo, equação 10, por sua vez, ocorre a oxidação, com a formação de O₂ a partir da água. Essas mesmas semirreações também são observadas no eletrolisador alcalino, evidenciando a similaridade do meio básico em ambos os sistemas (Du *et al.*, 2022; Shiva Kumar; Lim, 2022).

O separador empregado nesse tipo de dispositivo é constituído, em geral, por materiais poliméricos, como poliolefinas ou copolímeros contendo grupos amônio quaternário, responsáveis pela condução seletiva de ânions. Um exemplo muito utilizado é a membrana Fumatech®, que utiliza polímeros aromáticos com grupos quaternários de amônio com alta estabilidade. Além de permitir o transporte de íons OH⁻, essa membrana impede a mistura dos gases, assegurando maior segurança operacional e melhor desempenho eletroquímico (Du *et al.*, 2022; Shiva Kumar; Lim, 2022). Dessa maneira, o sistema apresenta fluxo reacional bem definido e favorece a produção eficiente de hidrogênio e oxigênio. Para detalhes precisos sobre sua configuração, consulta-se a Figura 9, que esboça seu sistema detalhado.

Figura 9: Esquema de funcionamento do eletrolisador AEM



Fonte: adaptado de Shiva Kumar e Lim (2022, p.13800, tradução nossa).

Para finalizar, apresenta-se um apanhado geral (Tabela 3), que faz a comparação entre os quatro tipos de eletrolisadores, sistematizando suas características físico-químicas e estruturais, o que permite uma visualização mais abrangente do que foi exposto até aqui.

Tabela 3: Características técnicas dos quatro tipos de eletrolisadores de água

	AWE	AEM	PEM	SOEC
Eletrólito	KOH / NaOH (5M)	Suporte polimérico de DVB com 1M de KOH / NaOH	PFSA	YSZ
Eletrodo/Catalisador (Lado do Hidrogênio)	Aço inoxidável perfurado revestido com níquel	Níquel	Óxido de Iridio	Ni/YSZ
Eletrodo/Catalisador (Lado do Oxigênio)	Aço inoxidável perfurado revestido com níquel	Níquel ou ligas Ni-Fe-Co	Platina sobre carbono	Perovskitas (LSCF, LSM), (La, Sr, Co, Fe), (La, Sr, Mn).
Separador	Amianto/Zirfon®/Níquel	Fumatech®	Nafion®	Eletrólito sólido YSZ
Eficiência	50%–78%	57%–59%	50%–83%	89% (laboratório)
Temperatura de operação	70–90 °C	40–60 °C	50–80 °C	700–850 °C
Pureza do H₂	99.5–99.9998%	99.9–99.9999%	99.9–99.9999%	99.9%

Fonte: Adaptado de Shiva Kumar e Lim (2022, p. 13797, tradução nossa).

Além dos eletrolisadores esmiuçados, existem outras rotas promissoras para síntese de H₂. Entre elas, encontram-se a reforma de biogás, na qual o metano (CH₄) oriundo de resíduos orgânicos é convertido em H₂ (Bento *et al.*, 2024); a gaseificação de biomassa ou biocombustíveis, que emprega materiais orgânicos para a produção desse gás (Alptekin; Celiktas, 2022); e a fotocatalise heterogênea, um processo em que a luz, geralmente solar, ativa um catalisador sólido, promovendo a dissociação de H₂O, gerando H₂ (Salgado *et al.*, 2024).

Considerando a pluralidade de rotas tecnológicas, a chamada “taxonomia das cores” enaltece ainda mais a complexidade do tema. Apesar de demasiadamente difundida, é importante salientar que essas categorias se sobrepõem, uma vez que as diferentes rotas produtivas, na prática, apresentam interconexões. De acordo com o documento da IEA (2023), “*Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity*” (em português: Rumo a definições de hidrogênio com base na sua intensidade de emissões), questiona-se o rigor técnico dessa classificação cromática, pois ela pode mascarar a real intensidade das emissões associadas a cada processo. Em contraposição, a agência recomenda que o H₂ seja definido com base em critérios objetivos de emissões, favorecendo maior transparência, comparabilidade internacional e redução de ambiguidades conceituais.

Passamos agora a elucidar os desafios do armazenamento e transporte de H_2 . Essas etapas são indispensáveis, pois, após a produção, o H_2 precisa ser armazenado de forma segura e transportado eficientemente, facilitando a sua adoção na cadeia energética global.

1.4.2 Armazenamento e transporte

Conforme Santos e seus colaboradores (2025), os principais métodos de armazenamento do H_2 compreendem: a forma líquida em tanques criogênicos; o armazenamento no estado sólido por adsorção em materiais como hidretos metálicos e nanomateriais à base de nitreto de boro; o armazenamento geológico; e, de modo mais difundido, o hidrogênio gasoso confinado em tanques pressurizados. Os autores também destacam alternativas em fase sólida, com o uso de carvão ativado, embora sujeito a contaminação, e de nanotubos, cuja aplicação ainda requer ajustes dimensionais e atenção a possíveis danos estruturais. No caso do hidrogênio gasoso, enfatiza-se a necessidade de tanques hermeticamente selados para evitar vazamentos, dada a elevada difusividade do gás.

Como principal opção para armazenamento em larga escala e de longa duração, o trabalho aponta o armazenamento geológico ou subterrâneo, que consiste na injeção do hidrogênio em formações naturais, como aquíferos, campos de petróleo e gás natural esgotados, cavernas de sal e minas abandonadas. Entretanto, persistem desafios relevantes, sobretudo quanto à durabilidade de tubulações e dutos, ao desgaste dos materiais pela interação com o próprio hidrogênio, que pode inclusive provocar contaminação, e à manutenção da pressão mínima necessária para a estabilidade do sistema. Acrescido a isso, embora o armazenamento gasoso seja o mais amplamente empregado, ele demanda grandes volumes para transporte em larga escala; por outro lado, o hidrogênio líquido permite maior densidade volumétrica e redução de espaço, mas apresenta menor eficiência energética global devido ao elevado consumo de energia requerido para sua liquefação criogênica (Santos *et al.*, 2025).

Outra solução eficiente para o armazenamento de H_2 em larga escala é o uso de tanques esféricos. Essas estruturas, geralmente pintadas de branco, de modo a reduzir a absorção de radiação térmica, são empregadas especialmente no armazenamento criogênico de hidrogênio líquido. A geometria esférica promove distribuição uniforme das tensões internas, conferindo elevada resistência estrutural e segurança operacional, além de possibilitar integração com sistemas de tubulação e gasodutos, permitindo a transferência do combustível para diferentes etapas da cadeia de suprimento (He; Yin, 2026).

O maior tanque esférico de hidrogênio líquido do mundo, com aproximadamente 25 metros de diâmetro, foi construído pela empresa CB&I (antiga *Chicago Bridge & Iron*

Company). A estrutura está localizada na Flórida, no *Kennedy Space Center* (Centro Espacial Kennedy), especificamente no Complexo de Lançamento 39B da NASA, com a finalidade de dar suporte ao programa Artemis (Figura 10). Seu antecessor, situado a algumas centenas de metros, possui cerca de dois terços da sua capacidade e foi construído na década de 1960 para atender ao programa Apollo. O hidrogênio líquido constitui o propelente criogênico (combustível) preferencial da NASA para foguetes e, com a instalação dessas duas esferas, espera-se garantir o abastecimento não apenas do *Space Launch System* (SLS), seu novo foguete, mas também viabilizar campanhas sucessivas de lançamento (NASA, 2025).

Figura 10: Maior esfera criogênica de hidrogênio líquido, situada no complexo de lançamento *Kennedy Space Center* da NASA



Fonte: NASA *Ground Systems*. Publicação na plataforma X, em 10 de abr. 2023. Disponível em: <<https://x.com/NASAGroundSys/status/1645510449071357959>>. Acesso em: 05 jan. 2026.

Por sua vez, o transporte H_2 é determinante para ensejar sua proficuidade em larga escala, uma vez que o hidrogênio produzido precisa ser transportado para mercados consumidores distantes. Esse transporte pode ser feito por diferentes modais: dutoviário (gasodutos), terrestre (rodoviário e ferroviário), hidroviário (navios e barcos) e aeroviário (balões e dirigíveis). No Brasil, estudos de planejamento energético indicam que a expansão e o compartilhamento da infraestrutura dutoviária de gás natural (*pipelines*) podem contribuir para o aproveitamento do potencial do hidrogênio no país (EPE, 2022; 2025). No entanto, para transporte internacional, a logística marítima se sobressai, com navios especializados capazes de carregar hidrogênio na forma liquefeita ou comprimida, atestando uma solução escalável de curto e médio prazo (Passalacqua; Traverso, 2025; Chen; Fan; Abdussamie, 2025).

Para superar as limitações do transporte direto, diversos insumos são empregados como vetores. A amônia (NH_3) verde, produzida a partir de H_2V , é um dos carregadores mais citados,

pois o H_2 está quimicamente fixado em suas moléculas, facilitando o transporte e liberação controlada. Além da amônia verde, os LOHCs (transportadores orgânicos líquidos) e MCH (metilcicloexano) também são extensamente estudados, assim como o metanol (CH_3OH) e outros carregadores. Esses vetores são essenciais, pois aumentam a densidade energética volumétrica, reduzem a pressão e a temperatura necessária para transportá-lo de forma segura (Valera-Medina *et al.*, 2018; Preuster; Papp; Wasserscheid, 2017; Olah; Goeppert; Prakash, 2018; IEA, 2019; IRENA, 2019). Nesse contexto, a Figura 11 ilustra um navio especializado no transporte marítimo de hidrogênio, equipado com esferas criogênicas de armazenamento.

Figura 11: Navio de transporte de hidrogênio liquefeito com tanques esféricos criogênicos



Fonte: Riviera Maritime Media. Publicado por Riviera News em 11 set. 2023. Disponível em: <<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/moss-maritime-receives-aip-for-lh2-design-77617>>. Acesso em: 05 jan. 2026.

Apesar do avanço dessas rotas logísticas, persistem desafios técnicos, energéticos e econômicos que ainda condicionam a viabilidade do hidrogênio em escala global, especialmente no que se refere ao consumo energético dos processos criogênicos, à necessidade de infraestrutura especializada e à segurança operacional ao longo da cadeia (Santos *et al.*, 2025). Assim, a consolidação do H_2V como vetor energético competitivo dependerá de ganhos de eficiência, redução de custos e amadurecimento regulatório. Diante desse panorama, torna-se pertinente avançar para a análise das etapas finais da cadeia, discutidas na subseção seguinte.

1.4.3 Distribuição e aplicação

A etapa de distribuição constitui um elo crítico na cadeia de valor do H_2V , pois é por meio das infraestruturas de transporte, especialmente redes dutoviárias, que se viabiliza a conexão entre centros de produção, terminais de importação e polos consumidores industriais.

Para o comércio internacional, foram anunciados 45% do volume de projetos, equivalente a mais de 16 milhões de toneladas por ano de H₂-eq até 2030, voltado a exportação. Apesar disso, apenas 5% desses projetos alcançaram a Decisão Final de Investimentos (FID, em inglês), refletindo desafios como ausência de compradores, limitações de capital em economias emergentes e incertezas regulatórias, mesmo diante de incentivos públicos (IEA, 2025).

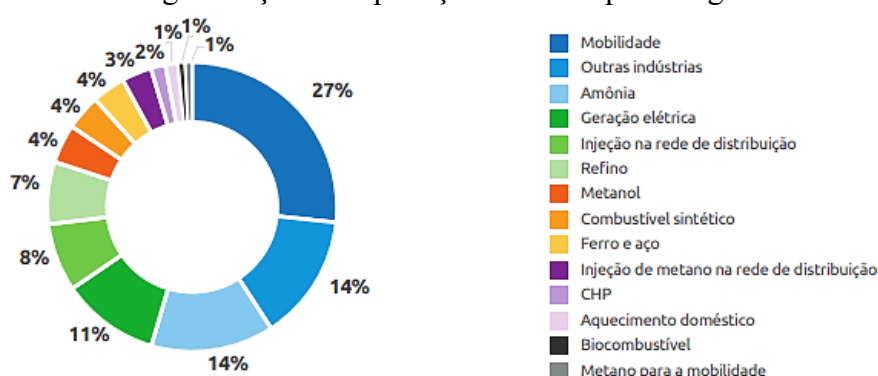
No campo da infraestrutura, foram anunciados aproximadamente 37.000 km de gasodutos de hidrogênio até 2035, mas menos de 6% receberam FID, com maior concentração na Europa e na China. Na Alemanha, destaca-se a conversão de 400 km de gasoduto de gás natural para condução de gás hidrogênio, iniciada em 2025. Para armazenamento subterrâneo, projeta-se capacidade de 11 TWh (325kt de H₂), embora apenas 5% dos projetos tenham avançado. Além disso, mais de 130 portos podem ter acesso a pelo menos 100 kt/ano de hidrogênio de baixa emissão até 2030, sendo que 55 portos já apresentam alta prontidão de infraestrutura segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2025).

A principal motivação do Brasil em seguir essa mesma linha é a busca por uma rota logística eficiente e de baixo custo, que possa integrar o hidrogênio à indústria nacional e, assim, impulsionar a descarbonização (EPE, 2022; IEA, 2023). Em território brasileiro, essa construção de dutos tem avançado de forma gradual, com projetos iniciais no Nordeste, Sudeste e Sul do país, ainda em fase de captação de investimento e estudos da viabilidade, mas com planos ambiciosos para o futuro (CNI, 2024; EPE, 2025).

A aplicação do H₂V concentra-se, prioritariamente, em segmentos industriais de elevada intensidade energética e emissiva, como a siderurgia (ferro e aço), metalurgia, a indústria química (notadamente na produção de amônia e metanol) e a petroquímica (especialmente no refino). Também se observa a crescente inserção na mobilidade (veículos leves e pesados, trens, navios e aeronaves), na produção de fertilizantes (amônia verde), na indústria cimenteira e nos setores de papel e celulose, vidro, cerâmica, entre outros. Esses domínios são considerados estratégicos porque o H₂V possibilita a mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE), a substituição progressiva de combustíveis fósseis e ganhos relevantes de eficiência energética (IRENA, 2019; 2021; IEA, 2024b; CNI, 2024).

O Gráfico 1, apresentado a seguir, descreve a distribuição percentual das aplicações finais do H₂V por setor. Apontando “uma preferência nas aplicações de mobilidade (27%), amônia (14%), indústrias com exceção do refino e do setor da amônia (14%), geração elétrica (11%), injeção na rede de distribuição (8%) e refino (7%)” (CNI, 2024, p. 113). Essa distribuição acontece em maior porcentagem para o setor de mobilidade, o que já faz do H₂V um combustível em potencial.

Gráfico 1: Segmentação das aplicações do H₂V por categorias de uso



Fonte: CNI (2024) *apud* IEA (2023).

Como visto, o H₂V possui diversas aplicações industriais, como na produção de amônia (empregada em fertilizantes), na produção de aço (via redução direta do minério de ferro), na síntese de metanol e na indústria cimenteira (no aquecimento da mistura do cimento *Portland* em substituição a combustíveis fósseis). Ressalta-se, ainda, seu papel na produção de combustíveis sustentáveis, como o SAF (*Sustainable Aviation Fuel*), combustível sustentável de aviação obtido, entre outras rotas, a partir do H₂V combinado com fontes de carbono. Essa aplicação tem ganhado relevância no contexto da descarbonização do setor aéreo, considerado um dos segmentos de mais difícil abatimento de emissões, reforçando o potencial versátil do H₂V na transição para uma economia de baixo carbono (Bezerra, 2025).

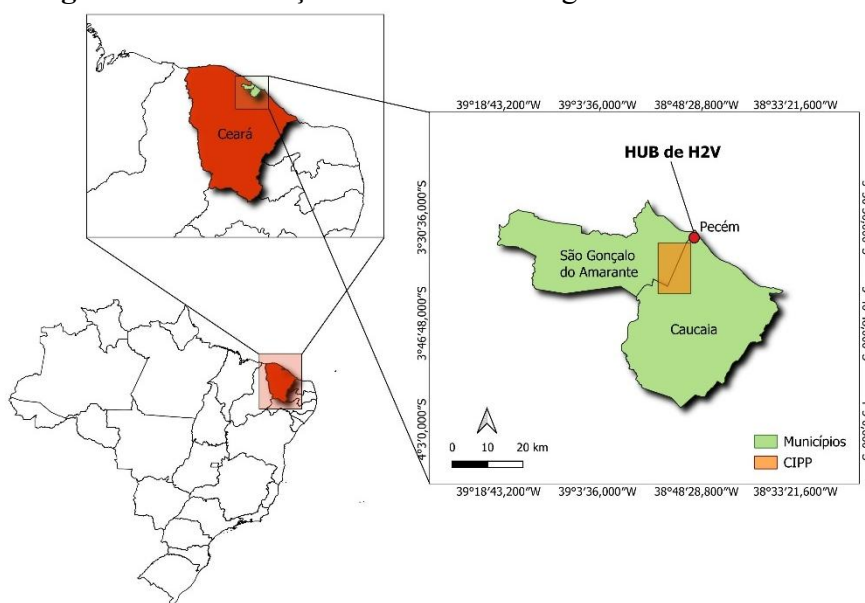
Dessa forma, vislumbra-se a emergência de um novo eixo de desenvolvimento no Nordeste brasileiro. O Ceará desponta como um dos principais beneficiários, com a implantação de um Hub de H₂V, entendido como um centro articulador de inovação, infraestrutura e conexão entre múltiplos atores. Nesse arranjo, o H₂V tende a ser produzido, armazenado e distribuído de forma integrada, contribuindo para posicionar o estado como um polo pioneiro de inovação.

1.5 Hub de Hidrogênio no Ceará: potencial e oportunidades para o Brasil

Desenvolvido entre os meses de novembro de 2023 e julho de 2024, o *Masterplan* de H₂V do Ceará é um relatório que está servindo de base para a criação do Hub. Um *Masterplan*, ou plano mestre, é um documento que define diretrizes, metas e etapas de um projeto. A elaboração foi coordenada pelo Governo do Estado do Ceará, em parceria com a Universidade de Havard, o Instituto Tecnológico de Massachusetts e a Siemens®, responsáveis pela elaboração do relatório, contando ainda com a participação da FIEC, da ADECE e do Observatório de Industrias do Ceará na realização do projeto, além do apoio do IXL Center, que garantiu suporte técnico para que a proposta se tornasse realidade (Ceará *et al.*, 2024a).

O Hub foi inaugurado no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) (Figura 12), uma localização estratégica no estado. Segundo a análise realizada no mesmo documento supracitado, o posicionamento do Ceará como território favorável à implantação do Hub fundamenta-se em quatro fatores-chave. Primeiramente, as condições climáticas diferenciadas conferem vantagem competitiva ao estado frente a outras regiões do Brasil. Em segundo lugar, a infraestrutura portuária moderna se destaca pela parceria com o Porto de Roterdã, na Holanda, um local de entrada na Europa, do H₂V produzido no estado. Terceiro, o forte engajamento institucional local, com incentivos fiscais e tributários para as empresas, que reforça a credibilidade do projeto, aspecto essencial nas ações de *roadshow* (apresentações a investidores), ao sinalizar o comprometimento governamental com a iniciativa. Por fim, a clareza proporcionada pelo *Masterplan* e pela governança participativa contribui para que o Hub, quando estiver em operação, transmita confiança a investidores e *stakeholders*, projetando o Ceará como um dos protagonistas na vanguarda da transição energética.

Figura 12: Localização do Hub de Hidrogênio Verde no Ceará



Fonte: o autor 2026, utilizando o *software* QGIS.

Contudo, conforme o relatório, enfrenta-se um grande desafio, sobretudo devido ao estresse e à persistente crise hídrica no estado, marcado por longos períodos de seca. A escassez de água torna-se um fator crítico, já que a produção do hidrogênio demanda um consumo significativo desse recurso. Então, utilizar reservatórios hídricos no estado representa um entrave a ser considerado, pois se trata de um insumo vital, valioso e escasso, precisando ser preservado para garantir a segurança hídrica da população e, como segunda prioridade, para abastecer a agricultura e a pecuária.

Dessa maneira, pensou-se em duas possibilidades. A primeira seria a dessalinização da água do mar, um processo muitas vezes dispendioso devido ao alto consumo de energia, precisando vir de fontes renováveis, além do impacto gerado pelos rejeitos de salinidade, sendo estes devolvidos ao mar, podendo prejudicar a biota marinha. Assim, a segunda opção considerada foi o uso de água de reuso, oriundas de estações de tratamento da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará), nas proximidades do CIPP. Porém, essa alternativa pode limitar a quantidade de água disponível para eletrólise em função consumo populacional, exigindo investimentos por parte do governo para que a concessionária consiga ampliar a infraestrutura adequada ao tratamento e à distribuição desse recurso (Ceará *et al.*, 2024a).

Em contrapartida, projetam-se expectativas positivas quanto à criação de novas áreas de pesquisa e *startups*, ao aumento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e à expansão do Produto Interno Bruto (PIB) cearense. Estima-se um incremento de R\$ 39,6 bilhões durante a fase de construção do Hub e de R\$ 13,4 bilhões na fase operacional, o que poderá posicionar o Ceará na 10ª colocação do PIB brasileiro, além da geração de mais de 200 mil novos empregos. Ademais, a planta de eletrólise prevista terá capacidade de 6,7 GW e produção anual estimada em 1 milhão de toneladas de H₂V, atraindo cerca de R\$ 30,9 bilhões em investimentos para o estado. Segundo as projeções, a totalidade dessa produção será destinada à exportação (Ceará *et al.*, 2024b).

No decurso dessas transformações, à medida que se evolui na construção de Hubs de H₂V ao redor do mundo, abre-se também espaço para se refletir sobre o capitalismo verde. A adoção de uma economia circular, atrelada ao reaproveitamento de recursos, denota um passo importante em direção a sustentabilidade. Na próxima seção, analisar-se-á se o equilíbrio entre o lucro e a preservação ambiental é, de fato, uma condição duradoura ou se, ao contrário, as mesmas dinâmicas de exploração ainda se reproduzem, mesmo envernizadas de verde.

1.6 Hidrogênio e o capitalismo verde: uma breve reflexão

Na contemporaneidade, o hidrogênio, especialmente o H₂V, tem sido alçado como um pilar da transição energética, inserindo-se no discurso do capitalismo verde (CV) (Fox, 2022; Rammer, 2025). Uma análise mais detida dessa relação indica que o hidrogênio, mais do que uma panaceia, está inserido num sistema econômico que perpetua as lógicas extrativistas e desiguais (Tunn *et al.*, 2024).

A economia circular, muitas vezes, é citada como uma solução para reduzir o desperdício e maximizar o reaproveitamento dos resíduos, até mesmo dentro da cadeia de valor

do H₂V (UNDP, 2023; Axt; Baldassarre; Kirchherr, 2025). Todavia, à luz de abordagens críticas sobre o CV, a própria noção de circularidade pode ser cooptada pelas dinâmicas de mercado. Nesse enquadramento, a promessa de uma transição sustentável tende a encontrar limites expressos nos cinco “Ds” da transição energética (Descarbonização, Digitalização, Descentralização, Democratização e Diversificação), cuja operacionalização, no contexto do hidrogênio, pode funcionar como uma narrativa de mercado, na qual tecnologias são apropriadas sem que se verifique, necessariamente, uma transformação estrutural aparente (Wagner; Götz, 2021; Fox, 2022). Marx (2013, p.207), no Livro I, “*O Capital: Crítica da Economia Política*”, aponta que o processo de troca na sociedade mercantil reflete as relações sociais subjacentes.

Os objetos de uso só se tornam mercadorias porque são produtos de trabalhos privados realizados independentemente uns dos outros. O conjunto desses trabalhos privados constitui o trabalho social total. Como os produtores só travam contato social mediante a troca de seus produtos do trabalho, os caracteres especificamente sociais de seus trabalhos privados aparecem apenas no âmbito dessa troca.

Essa formulação marxiana evidencia que, no capitalismo, a mediação mercantil tende a obscurecer as relações sociais de produção. É nesse sentido que, da mesma forma, a promessa de uma economia circular, ao ser absorvida pelo CV, acaba se transformando em mais uma mercadoria. Assim, disfarça-se a necessidade de uma transformação estrutural genuína, permanecendo presa às dinâmicas de mercado e sem provocar mudanças substantivas nas bases da produção e da distribuição.

Outro ponto central é a pegada de carbono e os créditos de carbono. A primeira refere-se à quantidade total de emissões de GEE associados a um indivíduo, organização, produto ou atividade (Pandey; Agrawal, 2014). Já a segunda consiste em certificados negociáveis que correspondem à redução ou remoção de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) da atmosfera, sendo transacionados em mercados regulados ou voluntários (The World Bank, 2022; Homaio, 2024). Embora esses instrumentos sejam apresentados como formas de monitoramento e compensação, podem não eliminar a lógica do lucro, convertendo a natureza em ativo de mercado. Ao invés de emancipar, o CV, ao se apropriar do hidrogênio, tende, em determinados contextos, a reproduzir uma lógica de exploração, onde as comunidades marginalizadas ficam à mercê de uma transição frequentemente apresentada como solução climática, mas que ignora a justiça social.

Desde a primeira Revolução Industrial, a exploração dos recursos naturais, especialmente carvão mineral e o petróleo, foi protagonizada por nações do Norte Global, como Europa e Estados Unidos, historicamente hegemônicas por populações brancas. Esses países

se beneficiaram de séculos de industrialização e acumulação, enquanto pessoas negras e marginalizadas das periferias, como as favelas brasileiras, ficaram à margem dessa riqueza (Pomenranz, 2000; IPCC, 2022).

Agora, no esforço de descarbonizar a economia, a responsabilidade recai sobre todos, ricos e pobres, brancos e negros, incluídos e marginalizados, mas sem levar em conta que foram países e as populações abastadas do Norte Global que se beneficiaram dessa exploração (Mello; Malerba; Tupinambá, 2024). Assim, no ímpeto de atingir a meta do Acordo de Paris, de 2015, de limitar o aquecimento a 1,5 °C e alcançar emissões líquidas zero até 2050, essa corrida, capturada pelo CV, transforma a urgência climática em uma nova fronteira de acumulação (UNFCCC, 2015; Brasil, 2020; IRENA, 2022). Os países do Sul Global, em especial as populações negras e periféricas, são colocadas no centro de uma crise que não criaram, pagando o preço de uma transição que, ao invés de emancipar, perpetua a lógica da exploração, beneficiando o capital e subordinando as periferias à injustiça social (Mello; Malerba; Tupinambá, 2024).

Corroborando com essa crítica, Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007, p. 72) afirma que: “Mal sabem as pessoas que atrás de grandes promessas de avanços tecnológicos escondem-se lucros e interesses das classes dominantes. Essas que, muitas vezes, persuadindo as classes menos favorecidas, impõem seus interesses [...]”. De forma semelhante Auler (2011, p. 77), argumenta ser,

[...] insustentável a crença de que o avanço tecnológico responde unicamente a impulsos internos. Por ser uma atividade social, é condicionada por fatores econômicos, políticos e sociais, e, por conseguinte, a direção de seu desenvolvimento atende a interesses particulares de determinados atores sociais. [...] Em outros termos, as visões desencadeadas pelas novas tecnologias impedem a compreensão da tecnologia como processo social, no qual estão embutidos interesses, na maioria das vezes, de grupos econômicos hegemônicos.

Em suma, o hidrogênio, como parte do CV, precisa ser analisado para além de seu potencial técnico, sendo situado em um debate mais amplo sobre emancipação, justiça climática e transformação social. Então, torna-se imprescindível repensar as bases do progresso tecnológico, de forma que ele se vincule a uma transformação social emancipatória. Nesse sentido, como afirma Santos (2011, p. 38-40),

[...] o contexto atual de crise econômica, associado à crise das mudanças climáticas, convida-nos a construir outro modelo de CT que rompa com o velho modelo consumista movido pela lógica do lucro independente de suas consequências socioambientais. [...] Para essa resignificação é necessária a ampliação do foco CTS não apenas para CTSA, mas, sobretudo, para processos participativos de tomada de decisão em CT na busca do ideal de uma sociedade justa e igualitária.

Diante disso, a imersão dos licenciandos em Química em uma tecnologia de síntese do H_2V , como uma das propostas desse trabalho de dissertação, configurou-se como uma peça-chave voltada à democratização do conhecimento científico e à promoção da equidade sob a perspectiva da justiça social e ambiental. Ao tensionar as assimetrias que historicamente estruturam a circulação do saber e o acesso às tecnologias, essa experiência desloca os futuros docentes da condição de meros reprodutores de discursos tecnocientíficos para sujeitos capazes de lê-los criticamente, interpretá-los à luz das relações de poder que os atravessam e intervir de modo eticamente orientados na realidade sociotécnica. Trata-se, portanto, de um movimento formativo que confronta a concentração de capital e de domínio tecnológico, ao fomentar a participação consciente em processos decisórios que envolvem as dimensões CTSA.

1.7 Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT): da concepção à avaliação

Os pressupostos educacionais e de ensino da “Alfabetização Científica” (AC) surgiram no ano de 1958, inseridos pelo trabalho de Paul Hurd, intitulado “*Scientific Literacy: Its Meaning for American Schools*” (em português, Alfabetização Científica: Seu Significado para as Escolas Americanas) (Hurd, 1958). Após a publicação deste artigo seminal, um avolumado de outros trabalhos vieram, na tentativa de consolidação e divulgação desta temática. Algumas dessas produções, foram: Shen (1975), Miller (1983), AAAS (1989), Bybee (1995), DeBoer (2000) e Laugksch (2000).

No contexto brasileiro, existe uma certa variação de conceitos, onde pelo menos três são identificados com maior frequência: “Alfabetização Científica”, “Letramento Científico” e “Enculturação Científica”. Sasseron e Carvalho (2011), concordam que este pluralismo conceitual deve-se, dentre outros fatores, a tradução linguística. Porque ao traduzirmos o termo original *ipsis litteris*, obtemos como significado “letramento científico”. Contudo, quando traduzido para outras línguas de origem latina, como espanhol e francês observa-se o termo: “Alfabetização Científica”.

Para Auler e Delizoicov (2001), o termo “alfabetizar” não remete somente a decodificação, ou junção de caracteres para formar palavras em seu sentido semântico. Indo além do ato de ler e escrever textos científicos, mas possibilitando ao sujeito, a leitura crítica do mundo, se alinhando aos pressupostos freireanos (Freire, 1987; 1996).

Outrossim, Chassot (2003, p. 30), afirma que: “ser alfabetizado cientificamente é saber ler a linguagem em que está escrita a natureza”. Segundo as visões do mesmo autor, a Ciência passa a ser a linguagem que desvenda os fenômenos naturais, perpassando pela razão e a

compreensão da necessidade de transformar o mundo. Crivo esse, usado para identificar um indivíduo alfabetizado cientificamente.

Complementando esta linha de pensamento, Fourez (2003), afirma que a AC pode ter como propósito capacitar os estudantes a compreenderem o mundo tecno-científico, permitindo que utilizem esse conhecimento para interpretar a realidade e reduzir sua complexidade. Além disso, busca desenvolver a autonomia crítica dos indivíduos, tornando-os mais conscientes dos avanços da ciência e suas implicações.

No âmbito social, por sua vez, pretende diminuir as desigualdades causadas pela falta de conhecimento em C&T, auxiliando na organização dos indivíduos e proporcionando ferramentas para que participem de debates que exigem pensamento lógico e embasamento científico. Finalmente, no aspecto econômico e político, a AC visa inserir as pessoas no universo industrializado, incentivando vocações científicas e tecnológicas que possam contribuir para a produção de bens e o progresso da sociedade.

Sasseron e Machado (2017), enxergam o indivíduo como um ser social, capaz de exercer sua cidadania na solução de problemáticas reais do seu cotidiano, tomando decisões conscientes, desde assuntos mais corriqueiros, até os de maior complexidade. Como discernir entre tomar ou não um antibiótico prescrito por um médico, ou votar em um plebiscito pela instalação de uma usina hidrelétrica.

Ainda para Gérard Fourez, em sua obra “*Alphabétisation Scientifique et Technique – Essai sur les finalités de l’enseignement des sciences*”, publicada em 1994, traz importantes argumentos sobre a relevância da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT), além de habilidades que o mesmo considera importantes para que um indivíduo seja considerado alfabetizado científico e tecnologicamente. Essas habilidades foram pensadas com base em critérios da Associação de Professores de Ciências dos Estados Unidos (sigla inglesa “NSTA”).

Nesta investigação, opta-se pela utilização da tríade ACT, por compreender que a inclusão explícita do domínio tecnológico expande o escopo formativo da AC tradicional, aproximando-a das discussões do movimento CTSA. A escolha torna-se pertinente quando se toma o arcabouço tecnológico do H₂V como estratégia para o enfrentamento das mudanças climáticas, uma vez que sua compreensão exige não apenas o domínio de conceitos químicos, mas também a análise crítica de seus impactos socioambientais, econômicos e políticos.

Essa discussão, dialoga com o que Santos (2011, p. 25-26) denomina de letramento para mudanças climáticas (*climate science literacy*), entendido como “uma compreensão da nossa influência e da sociedade sobre o clima e da influência deste sobre nós e a sociedade”. Assim, trabalhar com a ACT permite enriquecer a formação científica para além do conteúdo da

disciplina de Química, assimilando a dimensão tecnológica do H₂V e suas implicações climáticas, em sintonia com uma perspectiva formativa crítica, afinada ao movimento CTSA.

Segundo Sasseron e Carvalho (2011), com base no trabalho de Fourez (1994), uma pessoa é considerada alfabetizada, no viés da ACT, quando mobiliza um conjunto de habilidades que extrapolam o domínio conceitual, abrangendo dimensões epistemológicas, sociopolíticas, éticas e pragmáticas da relação entre ciência e sociedade.

Dada a complexidade e a amplitude dessas habilidades, optou-se por reorganizá-las em blocos temáticos, como mostrado no Quadro 9, no intuito de tornar clara sua estrutura interna e apoiar a análise da ACT empregada nesta investigação.

Quadro 9: Dimensões da Alfabetização Científica e Tecnológica

Dimensões	Habilidades
Conceitual-Epistemológica	1) Conhecer os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas e ser capaz de aplicá-los em diferentes contextos; 2) Compreender que a produção do conhecimento científico depende simultaneamente de processos de investigação empírica e de referenciais teóricos; 3) Distinguir resultados científicos fundamentados de opiniões pessoais ou posicionamentos não embasados cientificamente; 4) Reconhecer que o conhecimento científico é provisório, histórico e passível de reformulações à medida que novos dados e interpretações são produzidos; 5) Compreender como as ciências e as tecnologias foram historicamente produzidas e transformadas ao longo do tempo.
Sociopolítica	6) Compreender que a sociedade exerce influência sobre o desenvolvimento científico e tecnológico, assim como a ciência e a tecnologia influenciam a organização social; 7) Reconhecer que o direcionamento das pesquisas científicas e tecnológicas está relacionado a financiamentos, políticas públicas e interesses sociais; 8) Reconhecer os limites da ciência e da tecnologia para a promoção do bem-estar humano e para a resolução de problemas sociais; 9) Compreender as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas em sua utilização na sociedade; 10) Conhecer fontes confiáveis de informação científica e tecnológica e recorrer a elas em situações que exigem tomada de decisão.
Ético-Crítica e Formativa	11) Utilizar conhecimentos científicos articulados a valores éticos para tomar decisões responsáveis no cotidiano; 12) Apreçar a ciência e a tecnologia como empreendimentos intelectuais que estimulam a curiosidade, o questionamento e a reflexão crítica; 13) Possuir conhecimentos e experiências suficientes para avaliar a importância da pesquisa científica e do desenvolvimento tecnológico; 14) Extrair da formação científica uma visão de mundo mais ampla, rica e significativa, capaz de orientar posicionamentos críticos diante da realidade.

Fonte: Adaptado de Sasseron; Carvalho (2011, p. 67-70) *apud* Fourez (1994).

A partir dessa sistematização, percebe-se nesta pesquisa que a ACT edifica um processo formativo tridimensional, que interliga o domínio conceitual, a compreensão epistemológica, a participação sociopolítica e a tomada de decisão éticas, sendo basilares para a formação inicial dos docentes em Química na perspectiva CTSA.

Estas três dimensões apresentadas no Quadro 9 constituem, nesta pesquisa, um papel muito importante, permitindo avaliar indícios de desenvolvimento da ACT nos licenciandos

participantes. Desvela-se que a ACT não pode ser concebida apenas como meta da Educação Básica, mas também, como eixo estruturante da formação inicial de professores.

Ao reconhecer que o futuro docente deve dominar conceitos, compreender a natureza da ciência e analisar criticamente suas implicações sociais e ambientais, reforça-se a necessidade de propostas formativas que integrem tais dimensões no âmbito das licenciaturas em Ciências, particularmente da Química.

Essas 14 habilidades são de suma importância no entendimento da ACT, mas a lacuna proeminente, segundo Sasseron e Carvalho (2011), é: Como pensar e planejar o Ensino de Ciências de modo imersivo e gradativo para que os estudantes desenvolvam tais habilidades?

Em face do exposto, configurações curriculares decorrentes do embasamento conceitual dos “temas geradores” de Freire (1987) e os postulados de Snyders (1988), em seus “temas significativos”, Auler (2003, p.75), quando se refere a “Grupos de Estudos Temáticos em Ciência-Tecnologia-Sociedade”, considera ser pertinente em termos de ACT, pois,

[...] a) propicia uma compreensão crítica sobre interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade [...]; a.1) superação de modelos de decisões tecnocráticas [...]; a.2) superação da perspectiva salvacionista, redentora atribuída à Ciência-Tecnologia [...]; a.3) superação do determinismo tecnológico[...]; b) contribui para a superação do ensino propedêutico [...]; c) Alternativa ao ensino meramente disciplinar [...] (Auler, 2003, p. 75-78).

Para o mesmo autor, da citação anterior, a ACT é concebida como o ensino de conceitos associados a problematização, realizadas sobre a atividade científico-tecnológica, melhorando a compreensão crítica sobre as interações entre CTSA, onde C&T não pode ser vista de maneira neutra, constituindo uma proposta atrativa para intervenções didático-pedagógicas, consoantes a abordagens temáticas em sala de aula (Auler, 2003).

Nessa perspectiva, a adoção de temas sociocientíficos, como o H₂V, mostra-se coerente com a proposta da ACT, pois possibilita a articulação entre a conceituação Química, problematizações sociopolíticas e discussões éticas sobre desenvolvimento e a sustentabilidade.

Diante da necessidade de investigar empiricamente o desenvolvimento dessas habilidades, diferentes instrumentos foram propostos na literatura para mensurar níveis de AC. Assim, uma revisão bibliográfica realizou um levantamento dos estudos brasileiros que utilizaram o Teste de Alfabetização Científica Básica (TACB), instrumento que busca detectar o nível de alfabetização científica, proposto por Laugksch e Spargo (1996; 1999). Os resultados descortinaram algumas lacunas relevantes, dentre as quais se destaca a carência da inserção desse constructo de forma mais sistemática na formação inicial docente. Verificou-se que, a partir das aplicações do instrumento, que estudantes do Ensino Médio e professores demonstram relativo domínio de conteúdos científicos, porém expuseram dificuldades em

sincronizá-los a situações concretas e problemas do cotidiano. Por fim, os autores manifestaram a importância de diversificar as investigações para outros contextos educacionais, a fim de aprofundar o entendimento sobre os níveis de AC no país (Vizzoto; Pino, 2020).

Embora instrumentos padronizados, como o TACB (que foi adaptado ao contexto dessa investigação), ofereçam parâmetros objetivos de mensuração dos dados. Esta pesquisa seguiu uma perspectiva ampliada de avaliação da ACT, considerando indícios qualitativos de mobilização conceitual, argumentativa e sociopolítica nos discursos e produções dos licenciandos. A adaptação do TACB considerou aspectos e circunstâncias da formação inicial em Química e a inserção do tema H₂V, buscando harmonizar o instrumento às dimensões analíticas adotadas neste formato.

A promoção da ACT, em sintonia com a Educação CTSA, demanda estratégias didáticas que vinculem conhecimentos científicos, problematizações sociocientíficas e reflexões críticas sobre as implicações da C&T na sociedade. Nesse viés, ao tomar o H₂V como temática geradora, torna-se pertinente recorrer a abordagens pedagógicas que favoreçam a problematização e a construção significativa do conhecimento, como a sequência didática dos Três Momentos Pedagógicos (3MP).

1.8 Sequência didática dos Três Momentos Pedagógicos (3MP)

Uma alternativa para desenvolver este ensino e articulá-los as premissas educacionais CTSA, é através de “sequências didáticas”. Uma definição pertinente é descrita por Zabala (1998, p.18), como sendo, “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecido tanto pelos professores como pelos alunos”.

Sob esse entendimento, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018), incorporando o uso das práticas pedagógicas, cuja referência são os “Temas Geradores”, provenientes das bases teóricas da pedagogia de Freire (1987), em sua obra: “*Pedagogia do oprimido*”, os autores elencaram para o Ensino de Ciências, os “Três Momentos Pedagógicos” (3MP), quais sejam:

1º Momento - Problematização Inicial: os alunos são incentivados a questionar e refletir sobre a realidade (situação-problema), sendo desafiados sobre o que pensam a respeito dela. Os discentes expunham suas concepções, primeiramente, para um pequeno grupo de alunos e depois socializam para toda a turma. A função do professor é problematizar e coordenar as atividades, sem se posicionar, ou dar explicações, neste momento. Fazendo arguições e estimulando, principalmente, o pensamento crítico dos educandos.

2º Momento - Organização do Conhecimento: nesta etapa, ocorre a sistematização dos conhecimentos necessários para compreender as questões levantadas na problematização inicial. Sob a mediação do professor, os estudantes entram em contato com conceitos científicos por meio de diferentes estratégias didáticas, como leitura de textos, atividades experimentais, discussões orientadas e análise de diferentes recursos pedagógicos. Dessa forma, procura-se organizar e aprofundar as ideias inicialmente levantadas pelos discentes, unindo-as aos conhecimentos científicos e favorecendo a construção de compreensões mais consistentes que subsidiarão a etapa seguinte.

3º Momento - Aplicação do Conhecimento: aqui, ocorre a análise e a interpretação das situações iniciais e de outras que podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. A meta, neste momento, transcende a mera aplicação técnica, pois busca dar sentido e relevância aos saberes, tornando-os mais significativos para os envolvidos na aprendizagem. Ao conectar teoria e prática, os alunos são levados a recontextualizar o saber, apurando sua capacidade crítica e a aplicação desses mesmos conceitos em situações diversas, tanto no contexto escolar, quanto na própria vida cotidiana.

2. METODOLOGIA

A natureza dessa investigação, em termos gerais, desenhou-se como uma pesquisa aplicada¹⁴ e, classificada como exploratória e descritiva. A parte exploratória, foi realizada por meio de um levantamento bibliográfico, focado em bases de dados Ibero-americanas, com ênfase em teses e dissertações. As bases utilizadas foram: o Portal de Periódicos da Capes, a BDTD, TESEO e outras plataformas especializadas. Durante a pesquisa do referencial teórico buscou-se nos materiais encontrados três aspectos centrais: (i) a criação do movimento CTSA e sua influência pedagógica educacional nos cursos de licenciatura em Química; (ii) a contextualização das ER na formação de professores de Química, embora o H₂V não tenha sido encontrado nesses estudos; e, por fim, (iii) reflexões sobre obstáculos e desafios de intervenção didática sobre as ER.

Concernente à pesquisa descritiva, ela atuou conforme a caracterização procedimental de ensino e de aprendizagem, a partir de uma proposta com foco na abordagem educacional CTSA, sobre o H₂V como fonte energética contemporânea. Além disso, o caráter descritivo se manifestou no detalhamento das experiências vividas pelos participantes da intervenção didática, bem como na descrição da aplicação, incluindo as conexões de aprendizagem realizadas a partir da contextualização e da abordagem da ACT.

Em suma, a utilização do H₂V como ferramenta pedagógica no âmbito da abordagem CTSA para a formação inicial de professores de Química configura-se como um campo ainda pouco explorado. Nesse sentido, a investigação de novas possibilidades e a experimentação de uma sequência didática justificam o caráter exploratório deste estudo. Outrossim, a pesquisa também assume natureza descritiva, na medida em que se propõe a caracterizar as transformações no processo de ensino e aprendizagem, bem como as mudanças nas percepções, nas aprendizagens e nas práticas dos graduandos após a implementação dos 3MP.

Por essa razão, aplicou-se questionários semiestruturados para identificar a visão discente acerca dos efeitos dessa proposta pedagógica, visando ao desenvolvimento de estratégias de ensino epistêmicas. Ou seja, buscou-se entender o desenvolvimento epistêmico dos estudantes (Silva, 2009), permitindo que eles participassem ativamente das discussões, articulando ideias, comunicando e legitimando o conhecimento (Sasseron; Duschl, 2016). Ademais, os procedimentos técnicos de investigação foram desenvolvidos através de um estudo de caso, de natureza qualiquantitativa, caracterizando-se como uma pesquisa de método misto.

¹⁴ Consoante a Gil (2023), sua finalidade é resolver problemas identificados no âmbito das sociedades, sobre uma situação específica com vistas na aquisição de conhecimentos.

2.1 Procedimento de pesquisa

A investigação em questão foi desenvolvida através de um estudo de caso único¹⁵, que de acordo com Yin (2015), esse estudo se compromete a conhecer e descrever de forma exaustiva uma problemática e acontecimentos bem delimitados, ou um fenômeno social complexo, enfrentado por um certo grupo de indivíduos.

Este estudo teve caráter único, porque foi realizado em apenas uma turma de Licenciatura em Química, presente no Instituto Federal, localizado na região metropolitana de Fortaleza. É importante destacar, em casos únicos, a completa descrição e a interação entre os fatores de cada estudo, independentemente do caso (Pozzebon; Freitas, 1998).

Um dos motivos para a escolha desse delineamento metodológico, foi por se adequar muito bem a questão norteadora dessa pesquisa, já que os termos iniciais das perguntas, geralmente são: “como” e “por que” (Yin, 2001). Além disso, por oportunizar a ampliação de visões sobre o assunto e o detalhamento sistêmico desse campo de estudo, tecendo discussões, para desvelar e gerar possibilidades de pesquisas futuras (Pereira; Godoy; Terçariol, 2009).

Autores da literatura sobre o estudo de caso, concordam que essa metodologia é apropriada quando o fenômeno a ser investigado é contemporâneo; há pouco ou nenhum conhecimento prévio sobre o fenômeno; deseja-se compreendê-lo de forma aprofundada dentro de seu contexto; as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas; a pesquisa não demanda controle sobre eventos comportamentais; e o tipo de questão de pesquisa é adequado para o uso do método (Eisenhardt, 1989; Yin, 2001; Paré, 2004; Stake, 2009).

Isto posto, o fenômeno investigado refere-se à aprendizagem relacionada às energias renováveis (ER), especificamente ao H₂V, desenvolvida no contexto da formação inicial docente no curso de Licenciatura em Química. Ou seja, considerou-se como realidade investigada o ambiente universitário, mais especificamente uma disciplina deste curso.

Segundo Yin (2015), é essencial utilizar diferentes métodos de coleta de dados para assegurar a qualidade dos resultados em estudos de caso. A validade do estudo depende da convergência ou divergência dos dados obtidos por diversos procedimentos de coleta. Esse processo evita que os resultados fiquem sujeitos à subjetividade do pesquisador, conferindo maior rigor metodológico ao trabalho.

Desse modo, a pesquisa observou os dados sobre as: (i) Percepções socioambientais e tecnológicas dos licenciandos, sobre ER, especialmente do H₂V; (ii) Compreensões científicas

¹⁵ Essa denominação se refere a apenas um grupo de participantes, pois a partir de dois ou mais grupos na investigação, trata-se de um “estudo de caso múltiplo”, ambos descritos por Yin (2015).

prévias e decorrentes, pelo público-alvo; (iii) A frequência do uso de conceitos e atributos das ER, do H₂V e da CTSA nas práticas pedagógicas e, (iv) observações contínuas, registro de relatórios das aulas práticas e relatos qualitativos, por intermédio de um questionário, contendo perguntas abertas.

Nesta pesquisa foram utilizados três métodos de interpretação de dados, sendo o primeiro, qualitativo e os outros dois quantitativos, são eles: (i) a análise de conteúdo de Bardin (2016); (ii) a análise de frequência e correlação (estatísticas descritivas), para o questionário de perfil socioeconômico dos discentes participantes (Apêndice I) e do Teste de Alfabetização Científica Básica Adaptado (TACB-A) (Apêndice III); E, por fim, (iii) a análise de *Ranking* Médio (RM), de acordo com Oliveira (2005), relativo ao questionário de frequência das percepções dos licenciandos em Química (Apêndice II).

Dentro do escopo qualiquantitativo, expõe-se o aspecto qualitativo, envolvendo “[...] opiniões representativas e objetivamente mensuráveis de um grupo; o aprofundamento da compreensão de um fenômeno social por meio de entrevistas em profundidade e análises qualitativas da consciência articulada dos atores envolvidos no fenômeno” (Richardson, 1999, p. 102), esses e outros aspectos serão averiguados por meio de questionário III (Apêndice III), buscando-se analisar fatores de pesquisa que sejam sensíveis à percepção do investigador, bem como identificar variáveis que possam emergir e estejam diretamente conectadas ao estudo.

A ótica quantitativa, por sua vez, está atrelada a aspectos estatísticos e numéricos que ajudam a “compreender e classificar processos dinâmicos experimentados por grupos sociais, apresentar contribuições no processo de mudança, criação ou formação de opiniões de determinado grupo” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 70), visando um maior grau de profundidade e entendimento das atitudes, frequências, percepções e habilidades dos partícipes envolvidos.

2.2 Campo e sujeitos da pesquisa

A pesquisa foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), localizado na Avenida Parque Central, 1315, bairro Distrito Industrial, no município de Maracanaú, situado a aproximadamente 24 km da capital do estado, Fortaleza, na Região Metropolitana.

Esse estabelecimento de ensino é mantido com recursos financeiros do Governo Federal do Brasil e, enquanto instituição, oferece cursos nas modalidades de nível técnico, graduação e pós-graduação. A unidade dispõe de dois cursos de licenciatura, um na área de Química e outro na área de Matemática. Especificamente, o curso de Licenciatura em Química, escolhido para a condução deste trabalho, funciona no turno matutino.

e Microbiologia Ambiental (LAQAMB) e, no eixo da indústria, no Laboratório de Potência e Controle (LPC), permitindo a execução das práticas experimentais.

Os critérios para a inclusão dos participantes nesta pesquisa não se distinguiram quanto à idade, à raça, ao gênero ou quaisquer outros parâmetros físicos e sociais. As únicas restrições foram de que os mesmos, bem como a professora regente, lessem e assinassem deliberadamente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), e no caso dos estudantes, também estivessem regularmente matriculados no curso.

2.3 Instrumentos e procedimentos de produção dos dados

Inicialmente, os primeiros procedimentos desse estudo de caso, foram efetuados a partir das assinaturas do termo de autorização e existência de infraestrutura para a pesquisa, pelo coordenador do curso de licenciatura em Química do *campus* de Maracanaú (Anexo A). Esse documento, foi submetido digitalmente na Plataforma Brasil, juntamente com o esboço do projeto de pesquisa e os demais documentos vinculados¹⁶ para análise do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Salienta-se que a coleta de dados pôde ser iniciada, já que esta pesquisa foi aprovada pelo CEP/IFCE, parecer Nº 7.446.211 do Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) de Nº 86474125.9.0000.5589 (Anexo B).

Após esse processo, a professora regente foi contatada para esclarecimentos sobre as etapas da produção de dados e procedimentos de análise que seriam efetuados. A ela foi solicitado que assinasse o TCLE (Anexo C). Depois, em um segundo momento, o pesquisador fez o primeiro contato com a turma, no horário e local de aula, explicando aos discentes a importância da pesquisa, as etapas de realização e esclarecimentos adicionais sobre as dúvidas surgidas. Para finalizar, tendo todas as autorizações documentadas, na sequência, sucedeu-se o início da aplicação, no formato impresso, dos questionários I, II, III, IV, V, dentro do horário e local das aulas, acerca dessa atividade pedagógica.

O questionário I foi aplicado antes da intervenção de ensino. Empregado para caracterização social e econômica dos graduandos (Apêndice I), com a finalidade de conhecer o grupo amostral de análise, do ponto de vista generalista, delimitando a interferência condicionante desses aspectos em sua realidade acadêmico-estudantil. Esse instrumento, bem

¹⁶ O CEP/IFCE estabelece que estejam presentes no ato da submissão dentro da Plataforma Brasil, como documentos oficiais de pesquisa: o cronograma de pesquisa, o orçamento financeiro, o modelo do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), o modelo do termo de assentimento livre e esclarecido (TALE) (caso a pesquisa contemple menores de 18 anos). Também é exigida, a declaração de compromisso e apresentação dos resultados, bem como a declaração de garantia de regresso dos benefícios da pesquisa.

como os outros questionários, após ser entregue, deveria ser preenchido em até duas horas, constituindo-se de 15 questões de múltipla escolha.

O questionário II (Apêndice II), também aplicado antes da intervenção, foi nomeado como: “*Questionário de frequência das percepções dos licenciandos em Química*”, e fundamentado a partir dos documentos oficiais do Ministério da Educação do Governo Federal do Brasil, são eles: DCNCQ (Brasil, 2001), BNC-Formação (Brasil, 2019) e as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior de Profissionais do Magistério da Educação Escolar Básica (Brasil, 2024).

Esse constructo, contém 20 enunciados objetivos, feitos com base na escala tipo-*Likert* (nunca, raramente, às vezes, frequentemente e sempre), desejando conhecer a frequência de práticas, aplicações de conceitos (químicos, tecnológicos e ambientais) e sobre o currículo desses licenciandos. Desse modo, este recurso foi respondido junto ao Questionário I.

O Teste de Alfabetização Científica Básica (do inglês, *Test of Basic Scientific Literacy – TBSL*), foi desenvolvido por Laugksch e Spargo (1996; 1999), pesquisadores sul-africanos que baseados na visão de AC de Miller (1983), construíram um questionário com 110 enunciados (verdadeiros ou falsos), divididos em três eixos: (i) Entendimento dos Conteúdos de Ciência; (ii) Entendimento da Natureza da Ciência; (iii) Entendimento do Impacto da Ciência e Tecnologia na Sociedade e Ambiente. Esse questionário, que objetiva medir o nível de AC dos cidadãos, foi reduzido, em seu número de questões, por Vizzotto e Mackedanz (2018), na tentativa de deixá-lo mais simples e menos enfadonho.

Assim, o Teste de Alfabetização Científica Básica Simplificado (TACB-S), construído por Vizzotto e Mackedanz (2018), foi adaptado pelo pesquisador proponente deste estudo de caso e acrescido de mais um eixo estruturante, denominado: “Entendimento dos Conteúdos Gerais e Específicos da Proposta de Intervenção Didática CTSA”, com 13 afirmações. Constructo pensado para a proposta desse estudo. Este teste, contém 50 (cinquenta) assertivas, que foram julgadas como verdadeiras ou falsas, pelos alunos, em seus respectivos parênteses.

O questionário III, TACB-A, instrumento concebido para mensuração da AC dos docentes em química em formação, relativos as perspectivas desta dissertação, foi utilizado antes e depois da atividade (pré-teste e pós-teste) e, após entregue, foi respondido em até duas horas, em cada aplicação, pelos participantes inclusos (Apêndice III).

O questionário IV, aplicado antes dos 3MP, versa sobre alguns questionamentos triviais e opiniões discentes acerca da educação CTSA, ACT e o H₂V. Esta ferramenta, é composta por 10 perguntas subjetivas, manifestando os conhecimentos gerais prévios dos estudantes, sobre esses temas (Apêndice IV).

Ainda sobre o questionário IV, as quatro primeiras questões foram retiradas de instrumentos aplicados em pesquisas empíricas já existentes, sendo três retiradas do trabalho de Pekdağ (2014), uma indagação, adaptada de Matínez Pérez (2012), já as seis últimas, foram elaboradas exclusivamente para as particularidades e assuntos do estudo em questão. Os alunos foram direcionados a fornecer respostas com base em suas convicções.

O questionário V (Apêndice V), aplicado depois da sequência didática, apresentou problemáticas de abordagem CTSA, voltadas aos conteúdos vistos durante a aula expositiva e práticas experimentais, trazendo aspectos inerentes ao H₂V e a sua cientificidade.

Esta ferramenta, tem quatro problemas e suas respectivas expectativas de resposta, visando não só aferir a aprendizagem destes licenciandos durante a proposta de ensino, mas desenvolver o pensamento crítico, a tomada de decisões conscientes, a ACT, a formação cidadã, que são tão importantes para os pressupostos do binômio de ensino e de aprendizagem CTSA, de acordo com Santos e Mortimer (2002).

2.4 Planejamento e Aplicação da Intervenção

O cronograma para as intervenções de ensino e aplicação dos questionários foram definidos em comum acordo com a coordenação do curso e a docente responsável pela disciplina, levando em conta a disponibilidade de horários. A intervenção ocorreu entre os meses de abril e julho de 2025. Como o curso é ofertado no turno matutino, buscou-se que as atividades ocorressem durante as aulas regulares.

A proposta de ensino deste trabalho teve como carga horária total de vinte (20) horas, sendo duas horas de planejamento e apresentação prévia junto a professora encarregada pela matéria, 18 horas de regência em sala de aula, compreendendo um total de 10 encontros, apresentados no Quadro 10, subsequente.

Quadro 10: Descrição dos encontros da pesquisa

Encontro/ Data	Carga Horária	Descrição das Ações
1º 08/04/2025	02 horas	- Elucidação da pesquisa com a professora responsável e planejamento das atividades; - Assinatura do TCLE pela professora regente.
2º 15/04/2025	02 horas	- Aula de observação da turma, apresentação da proposta de pesquisa, explicação sobre o TCLE e coleta das assinaturas.
3º 06/05/2025	02 horas	- Aplicação do questionário I (Perfil socioeconômico dos participantes); - Aplicação do questionário II (Frequência das percepções dos licenciandos em Química).
4º 13/05/2025	02 horas	- Primeira aplicação do questionário III (Teste de Alfabetização Científica Básica – Adaptado).

CONTINUAÇÃO

5º 20/05/2025	02 horas	-Aplicação do questionário IV (Opiniões dos discentes sobre CTSA, ACT e H ₂ V); - Explicação e entrega dos modelos de planos de aula.
6º 27/05/2025	02 horas	- Execução do 1º Momento pedagógico: Problemática Inicial
7º 31/05/2025	02 horas	-Execução do 2º Momento pedagógico: Organização do Conhecimento.
8º 24/06/2025	02 horas	- Execução do 3º Momento pedagógico: Aplicação do Conhecimento; -Entrega dos roteiros das práticas experimentais e o modelo de relatório, bem como a execução dos experimentos.
9º 08/07/2025	02 horas	- Segunda aplicação do questionário III e recebimento dos relatórios das aulas práticas.
10º 15/07/2025	02 horas	- Aplicação do questionário V (com os discentes); - Apresentação dos planos de aula pelas equipes; - <i>Feedback</i> dos relatórios das práticas realizadas.
Total	20 horas	

Fonte: o autor, 2026.

O 1º encontro foi referente à elucidação inicial da estruturação desta pesquisa, ocorrendo apenas com a professora regente para o desenvolvimento das atividades, que aconteceriam posteriormente, com a referida turma de alunos, bem como o acerto do local e horário apropriados. Na ocasião, coletou-se a assinatura do TCLE, da docente (Anexo C).

Depois disso, o 2º encontro consistiu na ambientação do pesquisador no *lôcus* da investigação. Nessa ocasião, o investigador esteve presente em uma aula com duração de duas horas, destinada à observação. Ao término da aula, foram prestados esclarecimentos sobre a pesquisa e realizou-se o convite aos graduandos para participarem do estudo. Mediante a concordância, o TCLE foi entregue aos mesmos (Anexo D) para coleta das assinaturas.

O 3º encontro correspondeu à aplicação dos questionários I e II (Apêndices I e II), perfazendo duas horas contínuas para o seu devido preenchimento, tempo que pôde ser estendido por mais duas horas contínuas, conforme a necessidade do participante, contudo nenhum deles excedeu o horário previsto. Os dados obtidos desses instrumentos foram fundamentais para entender a realidade socioeconômica dos discentes e a frequência de suas percepções com relação ao meio que estão inseridos e as interações CTSA.

O 4º encontro, foi direcionado a primeira aplicação do TACB-A, como pré-teste (Apêndice III). Foram fornecidas explicações de “como” e “para que” deveria ser respondido este instrumento. Salienta-se que não houve necessidade de prorrogação das duas horas fornecidas, pois todos os participantes concluíram dentro do tempo inicial estipulado.

O 5º encontro, contou com as respostas discursivas subjetivas dos licenciandos no questionário IV (Apêndice IV). Este instrumento, visou conhecer as opiniões prévias dos futuros profissionais do magistério, sobre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente,

separadamente, e a relação entre esses conceitos de forma conjunta. Assim como, sobre a ACT e, especialmente, o objeto desta investigação (H₂V) e seus contributos para formação docente. Além disso, ainda neste encontro, foram entregues aos estudantes os modelos de planos de aula, os quais deveriam ser apresentados ao final da intervenção, no 10º encontro. Para essa etapa, foi estipulado o tempo máximo de 10 minutos por equipe. Cada grupo deveria ser composto de quatro a seis integrantes; entretanto, somente dois membros teriam a incumbência da apresentação final do plano.

Nesse mesmo encontro, dividiu-se as equipes e o sorteou-se uma temática relacionada aos conteúdos de Química abordados durante a intervenção, pensados de forma transversal ao tema H₂V. As temáticas sorteadas foram: (1) Eletrolisadores de H₂V e energias renováveis no Ensino de Química; (2) Química ambiental e atmosférica; e (3) Eletroquímica do H₂V e eletrólise da água. A partir do tema atribuído, os licenciandos deveriam elaborar e apresentar um plano de aula direcionado ao Ensino Médio (público-alvo), contemplando os elementos essenciais previstos no instrumento (Anexo E).

Para o 1º momento pedagógico, de problematização inicial, previsto para 6º encontro, foram abordados de maneira integrada, dois recortes da revista *BrasilAlemanha* e um trecho de um *E-book*, intitulado: “*Da transição energética à transição ecológica: a contribuição da justiça ambiental e um convite ao debate*”, trazendo diferentes perspectivas sobre o H₂V, suas promessas e desafios (Quadro 11).

Quadro 11: Recursos utilizados para a problematização inicial

Tipo	Referência	Descrição
Recorte de Revista	BATAGLIOTTI, J. ABC do Hidrogênio Verde. BrasilAlemanha , São Paulo, v. 29, n. 01, Seção “Especial: Hidrogênio Verde”, p. 18–22, 2021.	Explica o que é o hidrogênio verde, suas potencialidades como vetor energético importante, a síntese dos principais desafios no cenário atual.
Recorte de Revista	ALVARENGA, P. Hidrogênio verde e a transição para uma economia de baixo carbono. BrasilAlemanha , São Paulo, v. 29, n. 01, Seção “Especial: Hidrogênio Verde”, p. 42–44, 2021.	Discorre sobre como o hidrogênio verde, produzido por fontes renováveis pode descarbonizar a economia não só brasileira, mas em escala mundial e ajudar na transição energética necessária para enfrentar a crise climática.
Trecho de <i>E-book</i>	MELLO, C. C. A.; MALERBA, J.; TUPINAMBÁ, S. Hidrogênio: um portador de energia nova que precisa das antigas para existir. In: Da transição energética à transição ecológica: a contribuição da justiça ambiental e um convite ao debate . Parte I. Rio de Janeiro: Fase, 2024. p. 18-23. E-book.	Discute controvérsias socio-científicas e ambientais alusivas ao H ₂ V. Onde, apesar dos benefícios, há preocupações ambientais, como o uso de substâncias químicas nocivas na fabricação de seus componentes, e a necessidade de enfrentar esses problemas para garantir uma transição energética sustentável.

Fonte: o autor, 2026.

Assim, pretendeu-se criar um cenário dinâmico que permitisse aos discentes participantes refletir criticamente sobre o papel do H₂V na mitigação dos impactos ambientais decorrentes da queima de combustíveis fósseis, ao mesmo tempo em que consideravam os desafios reais ainda a serem superados.

As equipes formadas no encontro anterior reuniram-se novamente para realizar a leitura integral dos três recursos apresentados no Quadro 11. Organizados em círculos de debate, os grupos procederam à leitura e à discussão da temática, registrando os aspectos que julgaram mais relevantes nos textos analisados. Para essa atividade, foi concedido o tempo de 40 minutos.

A problematização inicial como um todo, ocorreu por meio de recortes textuais, entrevistas e debates, seguindo as etapas, compiladas e descritas, a seguir:

- **Introdução ao tema e os principais desafios:** o conceito de H₂V, explicando como ele é produzido por meio de fontes renováveis de energia (eólica e solar), e seu potencial na descarbonização global. Usando o recorte da revista BrasilAlemanha (2021) denominado: “*ABC do Hidrogênio Verde*” (p.18-22), bem como os benefícios e desafios técnicos e econômicos, discutindo as barreiras atuais, como o alto custo na produção e a necessidade de infraestrutura, que ainda limitam a viabilidade do H₂V, utilizando outro recorte da mesma revista: “*Hidrogênio verde e a transição para uma economia de baixo carbono*” (p. 42-44);

- **Explicação dos impactos ambientais e sociais:** embora o H₂V seja promissor, foi importante abordar as problemáticas e controvérsias sociocientíficas associadas ao seu uso. Para isso, promoveu-se a discussão do trecho do *e-book*: “*Hidrogênio: um portador de energia nova que precisa das antigas para existir*” (p. 18-23), debatendo questões como a poluição relacionada a produtos químicos tóxicos decorrentes da degradação de painéis solares e torres eólicas. Essa abordagem buscou oferecer uma perspectiva crítica, incentivando os alunos a refletirem para além dos benefícios dessa fonte energética;

- **Entrevista:** após os esclarecimentos apresentados no instante anterior acerca dos desafios dessa fonte energética, retomou-se o foco nas possíveis soluções e no futuro sustentável associado ao H₂V. Cada grupo elegeu um representante que, durante a entrevista semiestruturada, foi o único responsável por responder aos questionamentos, sem interferência dos demais membros. Desse modo, as respostas expressaram a visão coletiva do grupo, organizada por meio desse porta-voz.

A entrevista foi gravada pelo pesquisador utilizando o gravador de voz do celular, sendo as falas posteriormente transcritas e analisadas com rigor, a fim de garantir a fidelidade das respostas produzidas. Nesse formato, foram respondidas as seguintes perguntas: É possível que

o H₂V contribua para a descarbonização da economia global? Por que ele se tornou uma alternativa relevante em substituição aos combustíveis fósseis? O que se pode projetar para o cenário energético nos próximos 50 anos? De que forma os benefícios do H₂V podem ser potencializados e seus desafios superados, a fim de assegurar um impacto positivo efetivo na redução das emissões de CO₂ e no enfrentamento das mudanças climáticas?

- **Reflexão final e debate:** para finalizar o momento de problematização inicial, foi proposta uma discussão, no grande grupo (com toda a turma), onde as cadeiras foram distribuídas em formato de círculo, resgatando as anotações e sínteses dos alunos, a partir do que foi lido e discutido durante as rodas de conversa com os integrantes das equipes, desafiando-os a expor suas ideias. A meta foi: “1) problematizar as falas; 2) ir direcionando para a introdução do que será abordado no momento seguinte de organização do conhecimento” (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018, p.160).

O 7º encontro, de aplicação do 2º *Momento Pedagógico*, foi ministrado uma aula expositiva, com a duração de 1h50min, que abordou alguns assuntos dentro da temática do H₂V, que envolvem os aspectos do movimento CTSA e a Química. Os primeiros 10 minutos foram para preparação inicial da aula (organização e montagem do aparato tecnológico: *datashow*, *notebook*, projeção dos *slides*, etc.). Com esses 10 minutos, totalizou as duas horas. Tais conceitos e assuntos que foram vistos nesse encontro, podem ser verificados no Quadro 12.

Quadro 12: Etapas da aula, assuntos que serão abordados e duração

Etapas	Assuntos	Duração
1º	Organização e montagem do aparato tecnológico.	10 minutos
2º	Elucidação sobre o movimento educacional CTSA.	10 minutos
3º	- Aspectos físico-químicos do gás hidrogênio e a taxonomia das cores. - Algumas rotas para eletrólise da água.	30 minutos
4º	Cadeia de valor do H ₂ V (produção, armazenamento, transporte e aplicação).	50 minutos
5º	Energia livre de Gibbs, entalpia e entropia do H ₂ V.	20 minutos

Fonte: o autor, 2026.

Essa aula serviu como subsídio para compreender as práticas experimentais, a exposição demonstrativa do protótipo gerador de H₂V e as perguntas presentes no Questionário V sobre a “Aprendizagem desenvolvida em decorrência do estudo” (Apêndice V).

No 8º encontro, os alunos foram conduzidos ao Laboratório de Potência e Controle (LPC), localizado no bloco da indústria do IFCE – *Campus* Maracanaú. A utilização do espaço foi previamente articulado com o professor coordenador do LPC, com a professora regente da

disciplina e com a coordenação do curso de licenciatura em Química, mediante reserva, a fim de garantir a efetividade da execução das atividades.

Antes de adentrarem no laboratório, o pesquisador recomendou o uso dos equipamentos de proteção individual (EPIs), como jaleco (ou bata), máscara de proteção facial, luvas e óculos. Após todos os participantes estarem devidamente paramentados, deu-se início às atividades.

O pesquisador, informou as recomendações necessárias, como: 1) não utilizar celulares, ou equipamentos eletrônicos durante as práticas experimentais; 2) não comer ou ingerir bebidas de qualquer natureza dentro do laboratório; 3) informações sobre a localização de equipamentos de segurança (extintores de incêndio, chuveiros de emergência, kit de primeiros socorros, etc.), além das saídas de emergência presentes no local; 4) recomendações sobre manuseio dos equipamentos e de boas maneiras dentro do ambiente laboratorial. Em conformidade com as normas de “*Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde – NR-32*” (Brasil, 2005), “*Segurança de Produtos Químicos – NBR-14725*” (ABNT, 2014) e o “*Manual de boas maneiras e normas em laboratórios de Química*”, da própria instituição (IFCE, 2017).

Os discentes foram orientados a se posicionar próximos à bancada, sobre a qual se encontrava o protótipo gerador de H_2V , previamente montado pelo pesquisador. Em seguida, solicitou-se que eles observassem suas características estruturais e operacionais. Na ocasião, prestou-se os devidos esclarecimentos acerca do processo de montagem e do funcionamento desse arcabouço tecnológico, bem como sobre a forma como o gás hidrogênio (H_2) estava sendo produzido e coletado.

Logo após a etapa de explicação sobre o protótipo gerador de H_2V , as equipes, já formadas desde o *1º Momento Pedagógico*, foram conduzidas a outro espaço do LAQAMB, onde receberam o roteiro das três práticas experimentais (Apêndice VII), a serem realizadas ainda nesse dia, bem como o modelo de relatório (Apêndice VIII), a ser entregue no encontro seguinte. As práticas experimentais abordaram diferentes formas de produção do H_2 , sobretudo por meio da eletrólise da água e da reação de metais em meio ácido, ou alcalino.

A segunda aplicação do Questionário III (pós-teste) ocorreu no 9º encontro. Aliás, ressalta-se que o TACB-A foi aplicado tanto no início da intervenção de ensino (antes do *1º Momento Pedagógico*) quanto ao final (após o *3º Momento Pedagógico*), permitindo a análise dos ganhos de aprendizagem dos educandos. Nessa fase, também foram recebidos os relatórios das práticas experimentais, cujos *feedbacks* foram devolvidos no último encontro. Essa etapa totalizou duas horas de execução.

Por fim, no 10º encontro, finalizamos as atividades com as aplicações do questionário V (Apêndice V), que corresponde a quatro questões, com duas (02) de cálculo e duas (02)

escritas à próprio punho, para os alunos da disciplina, com o intuito de se constatar o aprendizado dos conteúdos de Química, transversais a temática do H₂V que foram ministrados durante o 7º encontro. Após entregue, o mesmo foi preenchido em até uma hora, tempo que pôde ser estendido por mais uma hora contínua, conforme a necessidade do participante. Contudo, ratifica-se que não foi preciso fornecer tempo adicional.

Ainda, no último encontro, houve as apresentações, por equipe, dos planos de aula, onde apenas dois integrantes apresentaram, representando seus respectivos grupos. Foi dado um tempo máximo de 10 minutos para apresentação deste instrumento e 5 minutos para tréplicas do pesquisador. Nos 15 minutos finais, foram feitas as considerações gerais dos planos de aula e relatórios das práticas experimentais realizadas.

2.5 Procedimentos de análise

Este estudo, através da execução desta intervenção, verificou o processo de ensino contextualizado, abrangendo os parâmetros científicos, tecnológicas, sociais e ambientais acerca da temática do H₂V. Portanto, foram utilizadas três técnicas de análise dos dados produzidos. A escolha de duas técnicas quantitativas se justifica pela necessidade de mensurar de forma objetiva as percepções dos licenciandos, através dos questionários de frequência e do TACB-A, além do *Ranking Médio* (RM), método de medição para instrumentais cunhados na escala tipo-*Likert*, seguindo o modelo de Oliveira (2005).

Já a técnica qualitativa de análise de conteúdo, conforme Bardin (2016), permitiu uma compreensão profunda das percepções e reflexões dos participantes, enriquecendo a análise com nuances que os dados numéricos, sozinhos, não conseguiram capturar. O questionário IV, bem como as questões que contêm respostas discursivas do questionário V, foram examinadas conforme esta técnica, compreendendo etapas de: (i) pré-análise; (ii) exploração do material; (iii) tratamento dos resultados obtidos, e interpretação.

Na 1ª etapa, de pré-análise, também conhecida como preparação do material (ou constituição de um *corpus*¹⁷), consiste na organização inicial de todos os instrumentos de coleta, onde o pesquisador fará uma leitura flutuante, isto é, a leitura dos textos escritos, deixando-se invadir pelas impressões imediatas e orientações, identificando possíveis ideias e argumentos mais centrais. Nesta etapa, também é feita a eliminação de partes textuais irrelevantes, sob a ótica do pesquisador.

¹⁷ Bardin (2016, p. 122) define, como sendo: “o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos”

A 2ª etapa, de exploração do material, demandou primeiramente, a separação em unidades de registro. Conhecida como a ação de codificação, ou seja, a seleção de palavras, frases ou trechos que representam alguma ideia específica (código). Para facilitar este processo, foi utilizado o *scientific software* ATLAS.ti[®], em sua versão gratuita para *desktop*, e suas ferramentas para análise de conteúdo, acelerando a tabulação dos códigos, criando, listando e distribuindo-os por cores. De acordo com Bardin (2016, p. 129), a “codificação corresponde a uma transformação – efetuada segundo regras precisas – dos dados brutos do texto, transformação esta que, por recorte, agregação e enumeração, permite atingir uma representação do conteúdo, ou da sua expressão [...]”.

Nessa direção, ao agrupar os códigos com base em critérios de similaridade, geram-se categorias de análise, por exemplo, a dimensão tecnológica e os obstáculos epistemológicos¹⁸ de aprendizagem, expressidos pelos estudantes em suas respostas, são dois dos exemplos de grupos que puderam surgir. Desse modo, posteriormente, foram classificados, usando quadros, tabelas e/ou gráficos, viabilizados pelo ATLAS.ti[®], permitindo facilitar a identificação de padrões, inferências, interpretações e relações feitas na etapa seguinte.

Finalmente, na 3ª etapa, busca-se tensionar os achados com os objetivos da pesquisa, gerando considerações finais, explicações demonstradas pela sua significância e fidedignidade, através de narrativas, gráficos, diagramas, modelos, etc. Segundo Bardin (2016, p. 128), “os resultados obtidos, a confrontação sistemática com o material e o tipo de inferências alcançadas podem servir de base a uma outra análise disposta em torno de novas dimensões teóricas, ou praticada graças a técnicas diferentes”.

O segundo método de análise, assim como o próximo, foi de natureza quantitativa. As técnicas adotadas para o tratamento dos dados obtidos no Questionário I baseiam-se na estatística descritiva. Entre os procedimentos utilizados, têm-se:

- Frequência absoluta e relativa: para contar a quantidade de participantes que escolheu determinada alternativa e calcular as porcentagens;
- Moda: para identificar a alternativa mais escolhida (Sampieri; Collado; Lucio, 2013);
- Teste de correlação de Pearson ou Spearman: para saber, por exemplo, se existe relação entre a faixa de renda dos estudantes e a participação na vida econômica de sua família (Miot, 2018).

¹⁸ Consoante a Lopes (1993, p. 316) “Bachelard (1947) denomina de *obstáculo epistemológico*: entraves que impedem o aluno de compreender o conhecimento científico. A aprendizagem de um novo conhecimento é um processo de mudança de cultura, sendo necessário, para tal, que suplantemos os obstáculos epistemológicos existentes nos conhecimentos prévios do aluno.”

Os dados foram tabulados em uma planilha, do Excel[®], *software* desenvolvido pela Microsoft[®] e acoplado ao seu pacote Office[®]. Essa planilha, foi carregada no Jamovi[®], outro *software* gratuito para *desktop*, que fez os devidos testes de correlação, gerando tabelas que foram interpretadas, segundo Miot (2018).

O primeiro passo, é detectar como o gráfico dos dados se comporta e se sua distribuição é normal. Este passo deve ser efetuado antes de escolher um teste paramétrico, como o de Pearson (de distribuição normal), ou não paramétrico como o de Spearman (de distribuição não normal). Isso, pôde ser verificado através do programa de computador Jamovi[®], que já fornece esses dados automaticamente.

Quando o teste de Shapiro-Wilk, representado pela letra “p”, foi maior que 0,05 a distribuição era normal ($p > 0,05$), em contra partida, se foi menor ($p < 0,05$), a distribuição era oposta. Por conseguinte, quando o coeficiente de correlação (mostrado no Jamovi[®]) é positivo, isso indica que a correlação entre as duas variáveis, também é positiva, o nível de significância também é elevado. Além disso, quanto mais próximo o coeficiente de correlação estiver 0,50, segundo Cohen (1998), mais forte será a correlação (0,00-0,10, nula; 0,11-0,29, fraca; 0,30-0,49, moderada e $> 0,50$ forte). A contradição a essa premissa anterior, também é verdadeira.

O questionário II, construídos com base na escala *Likert*, foi analisado também utilizando a estatística descritiva, levando em consideração medias de variabilidade e tendência central (como a moda (Mo)), que lidou com a pontuação que é registrada com maior frequência.

A terceira e última técnica, do *Ranking* Médio (RM), fomentada por Oliveira (2005), é calculada usando o valor de cada resposta (1 a 5) da escala *Likert* e a frequência registrada por cada uma delas. Dessa maneira o RM é calculado pela seguinte equação:

$$\text{Ranking Médio (RM)} = \left(\frac{\sum (Fi.Vi)}{NS} \right) \quad (11)$$

Onde:

- Fi – Frequência observada de cada resposta para cada um dos itens;
- Vi – Valor de cada resposta;
- NS – Número de Sujeitos.

Para analisar os valores obtidos, considera-se que um RM mais próximo de 5 indica um alto nível de concordância entre os participantes, enquanto valores mais próximos de 1 refletem maior discordância em relação à afirmativa apresentada. A organização dos dados quantitativos foi realizada por meio do *software* Excel[®], gerando gráficos e tabelas.

2.6 Processo de adaptação do Teste de Alfabetização Científica Básica

O Teste de Alfabetização Científica Básica (TACB), originalmente foi criado por Laugksch e Spargo (1996), a partir da estrutura teórica de Miller (1983), visando avaliar o nível de AC dos cidadãos. O questionário tem 110 questões (itens), composto por afirmativas verdadeiras ou falsas. Esses itens estão distribuídos em três (03) eixos estruturantes: “Eixo 1: Entendimento dos conteúdos da ciência”; “Eixo 2: entendimento da natureza da ciência” e “Eixo 3: entendimento do impacto da ciência e tecnologia na sociedade e ambiente”. Para ser considerado alfabetizado cientificamente, seria necessário um total de acertos equivalente a 60%, em cada um dos eixos.

Trabalhos acadêmicos atestam que esse instrumento possui características de validade e confiabilidade. Porém, pelo número excessivo de assertivas, acaba tornando-o cansativo aos respondentes (Vizzoto; Pino, 2020). Na tentativa de diminuir e manter os mesmos padrões supracitados Vizzoto e Mackedanz (2018), diminuíram a quantidade de itens para “45”, da seguinte forma: eixo 1 (assertivas 1 a 3; 14 a 26; 35 a 45); eixo 2 (assertivas 4 a 13); e eixo 3 (assertivas 27 a 34) do teste original. Cunhando um novo instrumento: o “*Teste de Alfabetização Científica Básica Simplificado*” (TACB-S).

Testes psicométricos foram empregados, usando o *software* pago SPSS® com a finalidade de manter os padrões originais. Esse teste, foi aplicado com um público-alvo de 653 egressos do ensino médio (ingressantes de cursos técnicos e graduação). Os testes realizados foram: Média, Desvio-padrão, Índice de dificuldade do item, Índice de discriminação do item, Testes t para amostras independentes, Teste U de Mann-Whitney, coeficiente de correlação ponto-bisserial, coeficiente Alfa de Cronbach, correlação item-total, teste T^2 de Hotteling e Análise Fatorial Exploratória (Vizzoto; Mackedanz, 2020).

Para elaboração do constructo desta pesquisa, nomeado Teste de Alfabetização Científica Básica Adaptado (TACB-A), foram feitas algumas mudanças no “TACB”, essas foram: 1) A quantidade de questões corresponde à pouco menos da metade do TACB (50 itens); 2) O Eixo 1, foi modificado, excluindo treze (13) itens e acrescentando outros doze (12) (considerados importantes para os objetivos deste trabalho); 3) Os Eixos 2 e 3 foram mantidos integralmente do TACB-S; 4) Foi feito mais um eixo (Eixo 4), nomeado como: “Entendimento dos Conteúdos Gerais e Específicos da Proposta de Intervenção Didática CTSA”, com 13 itens, totalizando 50 itens na junção de todos os eixos.

As questões eliminadas no Eixo 1, foram: 01, 02, 03, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 26. As questões que permaneceram, foram: 24, 25, 35, 36, 37, 38 e 41. Algumas questões

foram acrescentadas (11, 12, 13, 14, 52, 55, 78, 79, 81, 83, 85, 103) do teste original (TACB) a esse eixo, obedeceu aos descritores escolhidos pelo pesquisador, devido a proposta adotada ao estudo de caso, estes são: Química, Energia, Atmosfera, Clima, Ensino e Aprendizagem.

O Eixo 4, foi pensado para atender aos conteúdos e assuntos abordados durante a concepção e aplicação deste estudo, formalizados nesta dissertação. Sendo os 13 itens elaborados conforme as ideias de autores, ou contraditório a elas. Para melhor entendimento, foram dispostos os autores a seguir (Quadro 13).

Quadro 13: Elaboração das assertivas, com base nas ideias, ou contradições a autores

Eixo 4: Entendimento dos Conteúdos Gerais e Específicos da Proposta de Intervenção Didática CTSA	
38. Bezerra (2021).	45. Patonia (2024).
39. Contrário à Mello; Malerba; Tupinambá (2024).	46. Contrário à Brown; Lemay e Bursten (2005).
40. Shiva Kumar e Lim (2022).	47. Brown; Lemay e Bursten (2005).
41. Contrário à Spiro e Stigliani (2011).	48. Puga e Asencios (2023).
42. Folha (2024).	49. IPCC (2020).
43. EPE (2021; 2025).	50. Contrário à Brown; Lemay e Bursten (2005).
44. Contrário à Brown; Lemay e Bursten (2005).	

Fonte: o autor, 2026.

Diferentemente dos outros eixos, o eixo 4 não seguiu as técnicas quantitativas ou estatísticas aplicadas nos demais, pois buscou avaliar o grau de AC dos discentes sobre conceitos eletroquímicos, efeito estufa e aquecimento global, H₂V, entre outros, de forma direta. Concordamos que a realização de testes estatísticos seria ideal, porém, devido a contratempos e ao tempo hábil restrito, além da ausência do *software* pago SPSS® (para padronização dos outros eixos), esses testes não puderam ser realizados.

Assim, optou-se por uma análise qualitativa, na qual foram selecionados trechos das afirmações, ou contradições das ideias de autores referenciados no Quadro 12. E, dessa forma, a interpretação dos resultados focou em identificar se os discentes possuíam um entendimento coerente dos conceitos, alinhado aos objetivos formativos da proposta, mesmo sem a mensuração numérica.

Cabe ressaltar que o eixo 4, construído, constitui uma base factual sobre os conceitos científicos e tecnológicos. Por outro lado, os outros instrumentos, como os questionários 4 e 5, bem como a entrevista, realizada no *1º Momento Pedagógico*, contribuíram para uma ampliação do campo interpretativo. Foi a partir dessa combinação que se gerou uma imersão e uma

reflexão mais profunda, criando um espaço genuíno de problematização crítica, que se alinhou aos objetivos formativos da proposta.

Para finalizar o percurso metodológico, idealizou-se a construção de um protótipo de H_2V , inspirado no modelo alcalino, com o objetivo de demonstrar, em escala laboratorial, a síntese de H_2 por meio da eletrólise da água, utilizando eletricidade proveniente de uma fonte externa de energia renovável (solar). O protótipo constitui um passo importante para a materialização dos conceitos abordados e para a aplicação prática das discussões desenvolvidas, configurando-se como foco da próxima etapa desta metodologia.

2.7 Construção do protótipo eletrolisador alcalino

Protótipos são representações preliminares de um produto, concebidas para testar ideias e permitir que usuários visualizem e avaliem aquilo que será futuramente disponibilizado. Seu uso favorece o envolvimento no processo de criação e contribui para economia de tempo e recursos, ao possibilitar a identificação antecipada de falhas ou inadequações ao público-alvo. Em termos de fidelidade, podem variar desde versões de baixa fidelidade, mais simples e menos detalhadas, frequentemente produzidas com esboços, até protótipos de alta fidelidade, desenvolvidos com recursos mais avançados e capazes de simular de forma mais realista o produto final (Manzo *et al.*, 2022).

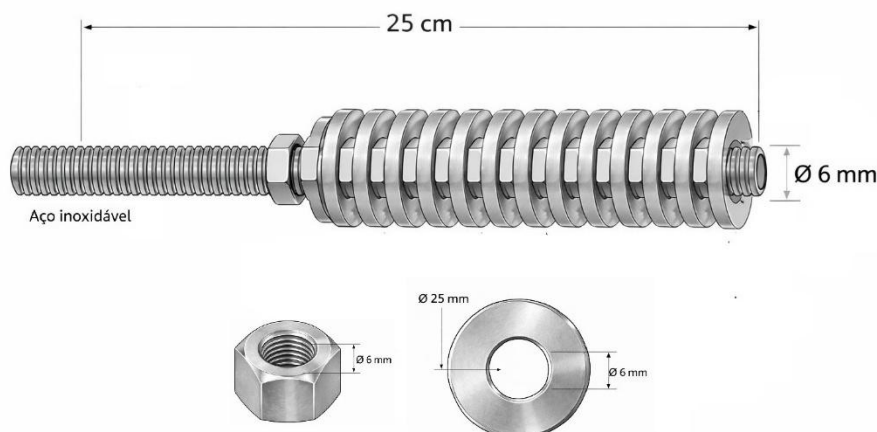
Segundo Manzo e colaboradores (2022), com base nas contribuições de Kara Pernice (2016), os protótipos de baixa fidelidade podem ser vantajosos por permitirem alterações no seu *design* de forma ágil durante as etapas de teste. Além disso, exercem menor pressão sobre os usuários, uma vez que o caráter inacabado do protótipo sinaliza a possibilidade de aprimoramentos, sem exigir que o procedimento seja plenamente bem-sucedido *a priori*. Por fim, esse tipo de prototipagem contribui para o alinhamento das expectativas das partes interessadas, que tendem a reconhecer que o produto ainda se encontra em desenvolvimento e, portanto, não precisa atender integralmente aos requisitos de uma versão final.

Para a construção do protótipo de H_2V , adotou-se como referência o modelo alcalino (AWE), priorizando-se a utilização de materiais de fácil acesso e boa qualidade, de modo a configurar um protótipo de baixa fidelidade. Os eletrodos foram confeccionados a partir de barras roscadas de 25 cm de comprimento e espessura de 1/4" (6 mm), esmerilhadas nas duas extremidades.

Nessas barras, foram acopladas arruelas intercaladas com porcas de 6 mm de diâmetro interno, sendo as arruelas de 25 mm de diâmetro externo, a fim de ampliar a superfície de

contato com o eletrólito. O aperto das porcas foi realizado com o auxílio de uma chave de boca adaptável. Todos os componentes dos eletrodos foram adquiridos em aço inoxidável, para evitar corrosão do metal em contato com o eletrólito, sendo que cada eletrodo foi constituído por 20 porcas e 20 arruelas. Na Figura 14 apresenta-se o desenho técnico da confecção dos eletrodos, no qual são detalhadas as dimensões de cada componente, assim como a configuração final.

Figura 14: Configuração estrutural e dimensional dos eletrodos de aço inoxidável



Legenda: O símbolo ($\emptyset$), em desenhos técnicos, indica o diâmetro.

Fonte: o autor, 2026, utilizando inteligência artificial.

Na construção do protótipo de H₂V, foram adaptadas duas tampas de bambu, perfuradas com uma broca de madeira, cada uma com três furos, nos quais foram acomodados três eletrodos iguais aos demonstrados na Figura 14. Essas tampas dos potes de vidro de 1650 mL, já possuíam uma borracha de vedação apropriada. Além disso, foi feito um furo no meio de cada tampa para acoplar um *niple* de 1/4", responsável pela saída do gás, sendo um *niple* para cada tampa. Esses *niples* foram conectados a mangueiras flexíveis de também com 1/4" de diâmetro interno, que interligaram os potes maiores (1650mL) aos potes menores (250mL), usados no borbulhamento do gás.

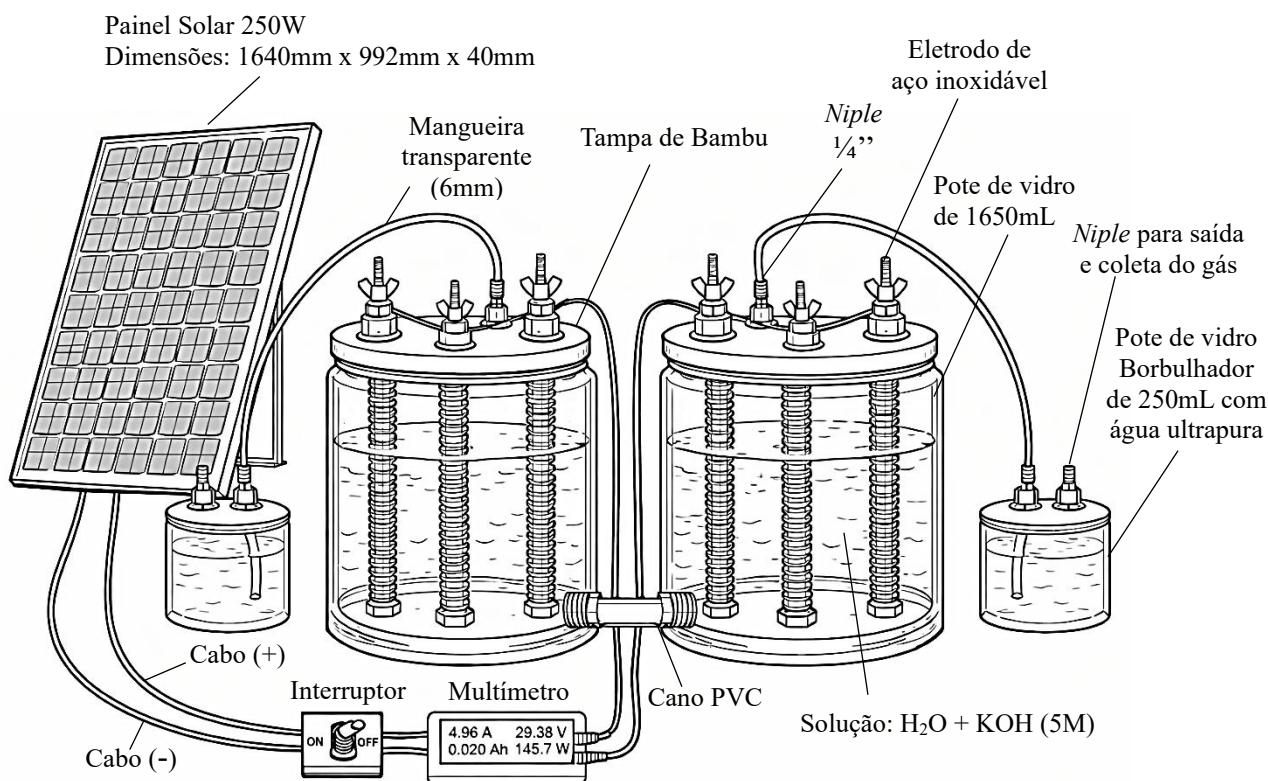
Os potes de vidro maiores foram perfurados para permitir a passagem de um cano de PVC de aproximadamente 3 cm de diâmetro, que foi acoplado entre os dois potes. Eventuais folgas nos furos foram seladas com cola de silicone, garantindo a estanqueidade da solução e a interligação dos potes, seguindo o princípio dos vasos comunicantes.

Nas extremidades das barras rosca das eletrodos, que ficaram para fora das tampas, foram conectados a fios de 2,5 mm: na cor preta, que é o polo negativo (cátodo), e na cor vermelha, que é o polo positivo (ânodo). Antes de tudo, um interruptor, que suportaria a potência necessária, foi interligado diretamente à placa solar, possibilitando ligar e desligar a

passagem de corrente. O interruptor, então, foi conectado a um multímetro digital com visor que, por sua vez, foi acoplado aos eletrodos, permitindo as medições de amperagem, voltagem e potência consumidas. Dessa forma, o sistema foi alimentado por um painel solar de 250W, modelo ZSH 250P6, da marca Zatech®, com dimensões de 1640mm x 992mm x 40mm, que, ao operar em plena incidência solar, alimentou a reação de eletrólise do sistema.

Houve uma comunicação entre os dois potes, assegurando a distribuição uniforme da solução eletrolítica entre os recipientes. Essa solução foi preparada em um recipiente separado, utilizando água deionizada ou ultrapura com hidróxido de potássio (KOH) da marca Dinâmica®, reagente com 85% de pureza e densidade de 2,11kg por litro, dissolvido em uma solução 5M. A solução foi despejada uniformemente nos potes antes da corrente elétrica ser ligada, distribuída graças ao cano que interligava os recipientes. Nos potes pequenos, de 250mL, havia dois *nipples*: um para a chegada do gás, com uma mangueira acoplada à tampa, que se estendia até a água, onde ocorria o borbulhamento. Esse gás, ao se desprender nas bolhas, saía pelo outro orifício, segundo *niple*, também na tampa, de onde o gás poderia ser coletado em bexigas, por exemplo. Esse protótipo montado, completamente, está disposto na Figura 15.

Figura 15: Protótipo de eletrólise alcalina da água para a produção de H₂V



Fonte: o autor, 2026, utilizando inteligência artificial.

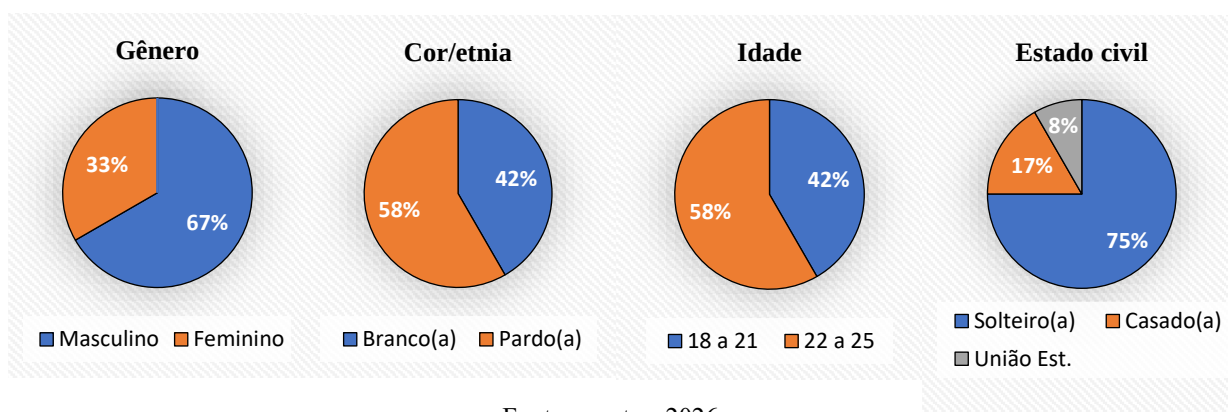
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa, obtidos por meio de questionários, do TACB-A, de planos de aula e apresentações, experimentos e relatórios, se distribuem ao longo de sete subseções. Inicia-se com o perfil socioeconômico dos participantes, seguida pelas percepções. Depois, exploramos as concepções acerca dos grupos temáticos, a análise comparativa do TACB-A, a avaliação das práticas laboratoriais, a revisão dos planos de aula e exposições, e por fim, os parâmetros de aprendizagem.

3.1 Caracterização socioeconômica

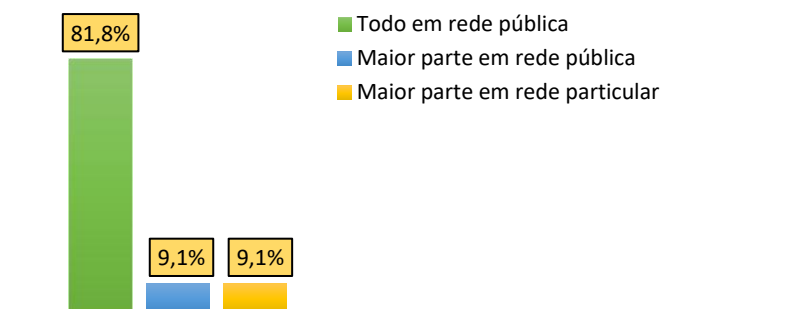
Através do questionário 1, em primeira instância, a fim de conhecer melhor o público-alvo deste estudo, levantou-se dados sociodemográficos, incluindo informações de gênero, etnia, idade e estado civil. As informações apuradas foram organizadas em quatro gráficos de pizza, que apresentam, de forma objetiva, a distribuição das respostas (Gráficos 2).

Gráficos 2: Dados sociodemográficos dos participantes da pesquisa



Em relação ao gênero, a amostra se distribui de forma equilibrada, com 67% de homens e 33% de mulheres, sem identificação de outros gêneros. Quanto à cor e/ou etnia, a maioria se declarou parda (58%), enquanto 42% como brancos(as). Na faixa etária, predominam os adultos jovens entre 22 e 25 anos (58%), seguidos por aqueles entre 18 e 21 anos (42%). Por fim, no estado civil, a maioria dos participantes é solteiro(a) (75%), enquanto 17% são casados e 8% vive em união estável. Esses dados mostram que a maior parte do público-alvo é composta por adultos jovens, predominantemente pardos(as), solteiros(as) e, em sua maioria, homens, o que pode indicar padrões sociodemográficos neste nicho.

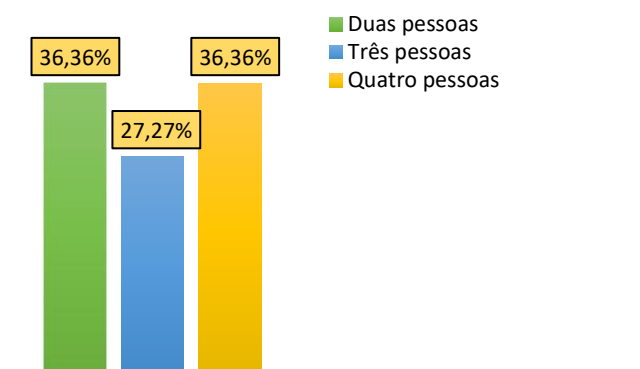
Cabe mencionar que, quando indagados sobre possuir filhos, na questão 6, nenhum dos participantes afirmou tê-los. Além disso, observa-se que a formação do Ensino Médio variou entre os participantes, como ilustrado, na sequência, no Gráfico 3.

Gráfico 3: Rede escolar frequentada na etapa do Ensino Médio

Fonte: o autor, 2026.

Com base no Gráfico 3, observa-se que 81,8% dos participantes concluíram integralmente o Ensino Médio em rede pública. Além disso, 9,1% cursaram a maior parte dessa etapa também em instituições públicas, enquanto outros 9,1% realizaram a maior parte de sua formação na rede privada de ensino. Destaca-se, ainda, que nenhum dos estudantes declarou ter realizado toda a sua formação no Ensino Médio exclusivamente em instituições privadas. Esses resultados atestam, portanto, um expressivo predomínio da rede pública na trajetória educacional desses respondentes. Esse perfil é consistente com estudos que indicam a predominância de estudantes oriundos da rede pública nos cursos de licenciatura no Brasil (Locatelli; Diniz-Pereira, 2019; Rego; Previtali, 2025).

Já no Gráfico 4, apresentamos a quantidade de pessoas que residem com cada licenciando. Conforme disposto a seguir:

Gráfico 4: Quantidade total de pessoas residindo com o licenciando (incluindo ele)

Fonte: o autor, 2026.

Verificou-se nessa apuração que 36,36% dos estudantes moram com uma pessoa a mais em sua residência e que outros com o mesmo percentual moram com três indivíduos. Apenas 27,27% residem com mais duas pessoas. Esses dados indicam que a maioria dos licenciandos integra arranjos domiciliares compostos de três a quatro indivíduos. Avança-se, agora, para o

entendimento de mais uma camada da vida acadêmica, voltada ao trabalho e a participação na renda familiar.

Logo, antes de iniciar a análise de correlação de Spearman entre as questões nove e dez, procedeu-se à análise da oitava questão, que investigou se os estudantes exerciam algum tipo de atividade remunerada. Os resultados indicaram que cinco participantes (45,45%) atuavam como estagiários ou bolsistas, dois (18,18%) possuíam emprego formal, um (9,09%) exercia atividade autônoma e três (27,27%) declararam não desempenhar nenhuma atividade remunerada. Esses dados mostram que a maioria dos licenciandos concilia a formação acadêmica com algum tipo de atividade remunerada, o que pode influenciar, de certa forma, tanto na disponibilidade de tempo para os estudos quanto nas experiências formativas vivenciadas ao longo do curso. É o que pondera Trindade e Pahim (2025, p. 14)

A sobrecarga de compromissos profissionais, frequentemente, sobrepõe-se aos momentos em que o estudante poderia se dedicar ao estudo, evidenciando como a vida acadêmica é afetada pela estrutura rígida do mercado de trabalho. Essa realidade expõe um conflito de prioridades, no qual, o tempo, a principal escassez enfrentada por esses estudantes, se torna um recurso cada vez mais valioso. Embora a tentativa de utilizar fins de semana e intervalos de trabalho como momentos de estudo seja uma estratégia comum, ela não é suficiente para mitigar os efeitos da pressão diária.

Após essas considerações, a tabulação dos dados referentes às questões 9 e 10 foi realizada a partir das respostas dos participantes, nas quais as categorias foram recodificadas em valores numéricos (item a =1, b=2, c=3 e, assim, sucessivamente). Na questão 9, a renda mensal da família foi categorizada em cinco faixas, que variam de nenhuma renda até superior a oito salários mínimos, enquanto na questão 10, a participação na vida econômica foi classificada em quatro níveis de envolvimento. Após a tabulação, foram calculadas as estatísticas descritivas de ambas as variáveis, seguidas do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, conforme a Tabela 4, abaixo.

Tabela 4: Estatísticas descritivas e teste de normalidade das variáveis questões 9 e 10

	Questão 9	Questão 10
Média	2.09	1.82
Moda	2.00	1.00
Desvio-padrão	0.539	1.25
W de Shapiro-Wilk	0.724	0.684
p Shapiro-Wilk	<0.001	<0.001

Fonte: o autor, utilizando *software* Jamovi, 2026.

Como os resultados do teste de Shapiro-Wilk apresentaram valores de “p” inferiores a 0,001, conclui-se que as variáveis não seguem uma distribuição normal. Diante dessa evidência,

optou-se por utilizar o teste de correlação de Spearman, que é mais adequado para dados não paramétricos. Além disso, as variáveis são de natureza ordinal, já prevendo a utilização desse tipo de teste. A seguir, apresenta-se a Tabela 5 com os resultados do coeficiente de Spearman.

Tabela 5: Resultados da Correlação de Spearman entre as Questões 9 e 10

		Questão 9	Questão 10
Questão 9	Coef. de Spearman	—	
	Grau de liberdade	—	
	p-valor	—	
Questão 10	Coef. de Spearman	0.121	—
	Grau de liberdade	9	—
	p-valor	0.722	—

Fonte: o autor, utilizando *software* Jamovi, 2026.

A partir da análise de correlação de Spearman podemos constatar que não houve associação estatisticamente significativa entre a renda familiar e a participação do estudante na vida econômica da família, pois o p-valor é superior a 0,05 ($p=0,722$). Esse resultado sugere que, no grupo investigado, o nível de renda familiar não está diretamente relacionado ao grau de participação econômica dos estudantes. Lembrando que a amostra foi composta por 11 graduandos ($n=11$). E, este achado, pode estar associado ao fato de que uma grande parte dos estudantes ainda depende financeiramente de seus familiares ou responsáveis durante a formação acadêmica, realidade frequentemente observada entre alunos de graduação no Brasil.

Na sequência, expomos a Tabela 6, que reúne o quantitativo de respostas por item das questões 11 a 15. Essa tabela foi construída a partir da contagem das frequências de cada alternativa de resposta, nas questões selecionadas, permitindo uma visualização mais clara do perfil de escolha dos respondentes.

Tabela 6: Quantitativo de respostas por item das questões onze a quinze do Questionário 1

Nº	Perguntas	Número de respostas por item				
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
11.	Qual é o principal meio de transporte que você utiliza para chegar no IFCE?	1	8	2	0	0
12.	Qual é o principal motivo para você ter escolhido o IFCE?	0	5	1	4	1
13.	Qual é o principal motivo para você ter escolhido o curso de licenciatura em Química?	2	2	3	0	4
14.	Atualmente você reside no município que cursa a graduação?	3	6	2	0	0
15.	O que você pretende fazer após se formar?	3	4	4	0	0

Fonte: o autor, 2026.

Com base nas respostas das questões 11 a 15 (Tabela 6), têm-se um panorama sobre os estudantes incluídos. A maioria utiliza o transporte coletivo, como metrô e ônibus, para se

deslocar até o IFCE. Além disso, a escolha da instituição se deve, predominantemente, à sua proximidade com a residência ou o trabalho, e, em segundo lugar, à reputação da IES. Quando se trata da escolha do curso, os motivos variam, mas muitos marcaram a alternativa de vocação pessoal, a influência familiar, ou a menor concorrência. Quanto à residência, a maior parte dos estudantes mora em Fortaleza, enquanto poucos residem em Maracanaú. Por fim, em relação ao futuro profissional, as respostas indicam uma distribuição equilibrada entre trabalhar na área, prestar concurso público ou continuar os estudos em um programa de pós-graduação, ou curso de aperfeiçoamento.

A seguir, são elucidadas as percepções dos licenciandos sobre os diferentes aspectos relacionados à Licenciatura em Química. Esses resultados cooperam para o entendimento de como os estudantes avaliam sua formação inicial e as múltiplas facetas deste contexto.

3.2 Percepções dos licenciandos

Foram discutidas as percepções dos licenciandos acerca da frequência com que incorporam, em suas atividades pedagógicas e educacionais, conceitos relacionados às ER, ao H₂V, às questões ambientais e à abordagem CTSA. Para essa análise, consideraram-se as respostas do Questionário 2, composto por 20 enunciados dimensionados em escala tipo-*Likert* de cinco pontos (nunca, raramente, às vezes, frequentemente e sempre), em cada um deles foi atribuído um valor numérico (por exemplo nunca = 1, raramente = 2, etc.).

A partir da análise das frequências de resposta para cada uma das questões, buscou-se compreender em que medida esses temas têm sido mobilizados pelos estudantes em seu processo formativo, demarcando possíveis tendências na integração desses conteúdos ao contexto de sua formação inicial.

Para tanto, foi realizado o cálculo do Ranking Médio (RM), com o objetivo de sintetizar a tendência das respostas dos participantes, permitindo identificar o grau médio de frequência atribuído a cada item. Esse procedimento possibilita comparar os diferentes enunciados do questionário e evidenciar quais temas apresentam maior ou menor presença nas percepções dos licenciandos. A seguir, apresenta-se um exemplo ilustrativo de como foi realizado o cálculo do RM para um dos enunciados do questionário.

$$RM = \left(\frac{\sum(Fi.Vi)}{NS} \right) = \frac{(2*1+3*2+3*3+2*4+1*5)}{11} = \frac{(2+6+9+8+5)}{11} = \frac{30}{11} = 2,72 \quad (12)$$

Na Tabela 7, a seguir, estão contidas as frequências de respostas para cada enunciado do questionário, considerando também o total de 11 sujeitos. As respostas foram distribuídas

na escala de 1 (nunca) a 5 (sempre) e foram contabilizadas. Além disso, são apresentados os valores do RM já calculados para cada item, conforme o modelo descrito na Equação 12.

Tabela 7: Frequência de respostas e Ranking Médio das questões na escala tipo-*Likert*

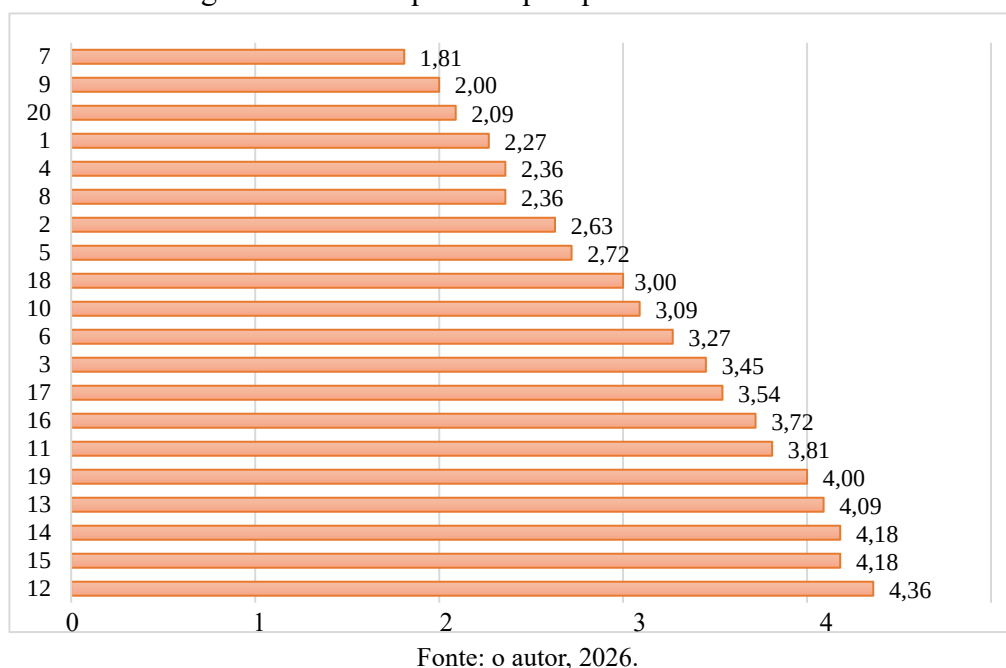
Enunciados	Frequência de respostas					RM
	1	2	3	4	5	
01. Busco aplicar os conceitos de energias renováveis durante as minhas atividades didáticas.	2	4	5	0	0	2,27
02. Discuto temas relacionados a energias renováveis, por exemplo, sobre o hidrogênio verde, com meus colegas de turma.	0	6	3	2	0	2,63
03. Utilizo a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) para planejar as minhas intervenções e/ou aulas de Química.	2	0	2	5	2	3,45
04. Utilizo experimentos práticos, metodologias inovadoras de ensino e recursos tecnológicos, como por exemplo o aparato de hidrogênio verde, conectando a teoria e a prática, em minhas intervenções e/ou aulas de Química.	4	1	4	2	0	2,36
05. Sinto-me preparado(a) para ensinar, nas minhas futuras aulas de Química e/ou Ciências, sobre as implicações científicas, tecnológicas e sociais das energias renováveis.	2	3	3	2	1	2,72
06. Reflito sobre os impactos sociais, éticos, políticos e ambientais do uso de tecnologias alternativas de energia e sustentabilidade durante as aulas das disciplinas do meu curso de licenciatura.	0	4	2	3	2	3,27
07. Realizo atividades experimentais relacionadas a energias renováveis durante as disciplinas do meu curso de licenciatura em Química.	6	3	1	0	1	1,81
08. Observo no currículo escolar vigente do meu curso de graduação, a dimensão socioambiental, e nas aulas decorrentes das disciplinas, discussões CTSA sobre a temática de energias renováveis.	1	6	3	1	0	2,36
09. Desenvolvo estudos, como: artigos, pesquisas, projetos, resumos, resenhas, interligados ao meio ambiente e a sustentabilidade.	4	5	0	2	0	2,00
10. Sou incentivado(a), por meio da pesquisa, extensão e ensino, a trabalhar dentro da perspectiva CTSA nas aulas de Química.	1	3	3	2	2	3,09
11. A formação oferecida pelo meu curso de graduação, aborda de maneira equilibrada as dimensões do conhecimento pedagógico, científico e cultural.	0	0	4	5	2	3,81
12. Os professores(as) das disciplinas do meu curso de licenciatura, bem como o currículo vigente, contribuem para o desenvolvimento de competências que facilitam a interdisciplinaridade e a aprendizagem cooperativa.	0	1	3	3	5	4,36
13. O meu curso de formação inicial me capacita, como futuro professor(a), a desenvolver atividades que favoreçam a autonomia, no que diz respeito ao meu desenvolvimento pessoal e profissional.	0	0	4	2	5	4,09
14. Tenho interesse pelo autoaperfeiçoamento contínuo e iniciativa na busca de soluções para questões relacionadas com o ensino de Química.	0	0	3	3	5	4,18
15. Sinto que estou sendo preparado(a), para atuar como professor(a)-pesquisador(a) no contexto do ensino de Química.	0	0	3	3	5	4,18
16. Reflito de forma crítica sobre as aulas, cursos e intervenções que ministro, identificando problemas de ensino-aprendizagem.	1	0	3	4	3	3,72
17. Acompanho e compreendo os avanços científico-tecnológicos e educacionais de Química.	0	1	4	5	1	3,54
18. Leio, compreendo e interpreto textos científico-tecnológicos em meu idioma pátrio e estrangeiro (especialmente inglês e/ou espanhol).	0	3	6	1	1	3,00
19. Trabalho em equipe durante as disciplinas da minha graduação e tenho uma boa compreensão das diversas etapas que compõe uma pesquisa educacional.	0	0	2	7	2	4,00
20. Participo de projetos de intervenção e/ou ações de sustentabilidade socioambiental na minha instituição educacional (IFCE) e/ou na comunidade, com foco na prevenção de riscos, na proteção e preservação do meio ambiente e da saúde humana e na construção de sociedades sustentáveis.	5	1	4	1	0	2,09

Fonte: o autor, 2026.

Isto posto, a fim de facilitar a interpretação do RM, elaborou-se um gráfico no qual os enunciados foram hierarquizados em ordem crescente de valor. Essa representação permite uma visão panorâmica do comportamento de cada item, possibilitando verificar se as respostas se aproximam de: nunca/raramente (baixa frequência), às vezes (frequência intermediária) ou frequentemente/sempre (alta frequência). Complementarmente, isso possibilita sintetizar as respostas sem a necessidade de examinar individualmente todas as frequências, enxergando os itens com RM mais elevado, indicativos de maior presença nas práticas pedagógicas, e aqueles com RM mais baixo, que sugerem menor recorrência ou mobilização desses temas.

O Gráfico 5, apresentado em colunas horizontais, organiza os números das questões no eixo Y em ordem crescente de RM, enquanto o eixo X representa os respectivos valores de RM, conforme apresentado a seguir.

Gráfico 5: Ranking Médio das frequências por questão distribuídos em ordem crescente



Ao se recorrer ao Gráfico 5, referente aos enunciados 1, 2, 4, 5 e 7, observa-se um padrão de baixa participação ($RM < 3,00$) dos licenciandos em práticas associadas às ER. Apesar da crescente ênfase na formação docente, que demanda não apenas a compreensão conceitual, mas também a aplicação de conhecimentos, o uso de metodologias pedagógicas diversificadas e a capacidade de contextualizar a Ciência em suas dimensões tecnológicas e sociais (Brasil, 2001; 2019; 2024), a prática pedagógica ainda não reflete plenamente tais pressupostos formativos. Esse paradoxo entre a formação teórica e sua efetiva aplicação expõe um desafio relevante: de assegurar que esses futuros professores não apenas compreendam o conceito de ER no EC, mas também se sintam devidamente preparados para incorporá-las em suas práticas pedagógicas.

Não obstante, o enunciado 8 revelou um baixo RM quanto à incorporação da dimensão socioambiental nas disciplinas. Já o enunciado 10, embora apresente uma RM ligeiramente superior, ainda se situa em um patamar intermediário. Ambos, fazem emergir uma lacuna significativa na adoção da abordagem CTSA nas aulas de Química. Enquanto o primeiro item indica uma ausência quase total dessa dimensão no contexto formativo, o segundo sugere que, apesar de haver algum incentivo por meio do tripé ensino, pesquisa e extensão, ainda há um caminho a ser percorrido para que essa prática se torne mais frequente e efetivamente inserida na formação docente.

Concernente aos enunciados 9 e 20, também se observa uma tendência de baixa frequência nas práticas dos licenciandos. O enunciado 9, que aborda o desenvolvimento de estudos acadêmicos, tais como artigos, pesquisas, projetos, resumos ou resenhas, relacionados ao meio ambiente e à sustentabilidade, apresentou $RM = 2,00$, indicando que essas atividades são mobilizadas apenas raramente pelos participantes. De modo semelhante, o enunciado 20, que trata da participação em projetos de intervenção ou ações de sustentabilidade socioambiental no âmbito institucional, ou comunitário, apresentou $RM = 2,09$.

Esses valores, situados na faixa correspondente a “raramente”, sugerem que, embora as temáticas ambientais e de sustentabilidade estejam preconizadas em documentos orientadores da educação brasileira, como as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental (DCNEA), sua materialização em atividades investigativas e em ações práticas de intervenção ainda ocorre de forma limitada na experiência formativa dos licenciandos. As DCNEA, por exemplo, destacam a importância de promover a participação ativa dos estudantes em ações coletivas e projetos voltados à sustentabilidade socioambiental, conforme expresso na extração:

e) trabalho de comissões, grupos ou outras formas de atuação coletiva favoráveis à promoção de educação entre pares, para participação no planejamento, execução, avaliação e gestão de projetos de intervenção e ações de sustentabilidade socioambiental na instituição educacional e na comunidade, com foco na prevenção de riscos, na proteção e preservação do meio ambiente e da saúde humana e na construção de sociedades sustentáveis (Brasil, 2012, p.6).

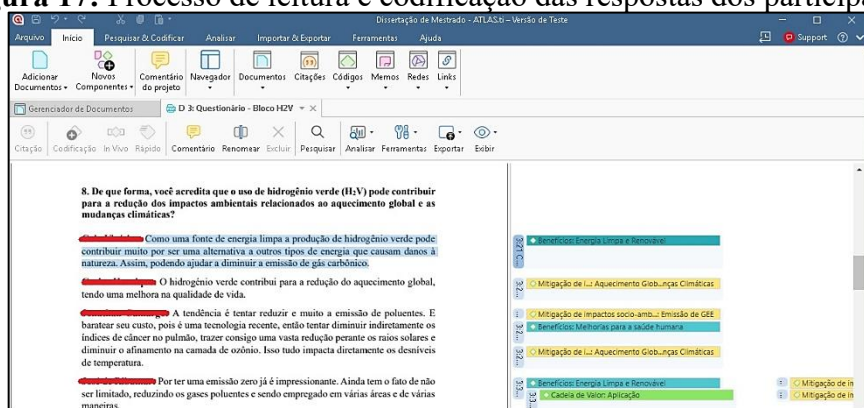
A partir da análise geral do Gráfico 5, observa-se ainda que os demais enunciados do questionário se distribuem em diferentes níveis de frequência nas percepções dos licenciandos. Os enunciados 3, 6, 10, 11, 16, 17 e 18 apresentam valores de RM situados em uma faixa intermediária (RM entre 3 e 4), indicando que as práticas ou discussões relacionadas a esses itens são mobilizadas pelos participantes apenas ocasionalmente, aproximando-se da categoria “às vezes” da escala. Esse resultado sugere que determinados aspectos associados à inserção CTSA, tecnológicos e educacionais, já aparecem no processo formativo, porém ainda de maneira pontual ou não sistemática. Em contrapartida, os enunciados 12, 13, 14, 15 e 19

Após a importação dos arquivos no ATLAS.ti, procedeu-se à etapa de codificação dos materiais, seguindo os preceitos da análise de conteúdo. Nessa fase, as unidades de registro foram estabelecidas a partir de trechos selecionados dos questionários e das transcrições da entrevista, e cada unidade foi codificada com um código específico. Esses códigos (*codes*), que representam os temas ou categorias de interesse, foram identificados e destacados por meio de cores no *software*, facilitando a visualização e o acompanhamento. A partir da frequência de ocorrência de cada código, ou seja, seus índices, foi possível quantificar a presença dos temas no *corpus*. Com base nesses índices, realizou-se uma releitura e uma fusão de alguns códigos, reunindo-os em categorias analíticas mais amplas. Dessa forma, a categorização final permitiu uma leitura mais aprofundada dos sentidos emergentes nos dados, proporcionando uma análise rigorosa e interpretativa dos fenômenos estudados.

A utilização do ATLAS.ti revelou-se de grande importância no processo de codificação, uma vez que permitiu identificar semelhanças entre os documentos, possibilitando a aplicação dos mesmos códigos em diferentes materiais. Ao contar a frequência de ocorrência desses códigos, foi possível realizar uma comparação entre os textos, evidenciando padrões transversais. Além disso, a plataforma facilitou a categorização dos códigos, permitindo uma separação clara dos mesmos, o que simplificou a organização dos dados para análise posterior. Outro aspecto fundamental, foi a possibilidade de fazer uma aproximação entre os códigos e o referencial teórico previamente construído.

Com base nas respostas dos licenciandos, foi possível realizar uma leitura mais fina, alinhando as evidências empíricas ao arcabouço teórico, o que enriqueceu a análise e garantiu sua interpretação. A seguir, na Figura 17, podemos observar de forma detalhada o processo de codificação realizado. Nessa figura, cada código identificado foi atribuído a trechos específicos dos textos, e os códigos foram agrupados posteriormente em categorias, evidenciando as relações entre os temas emergentes.

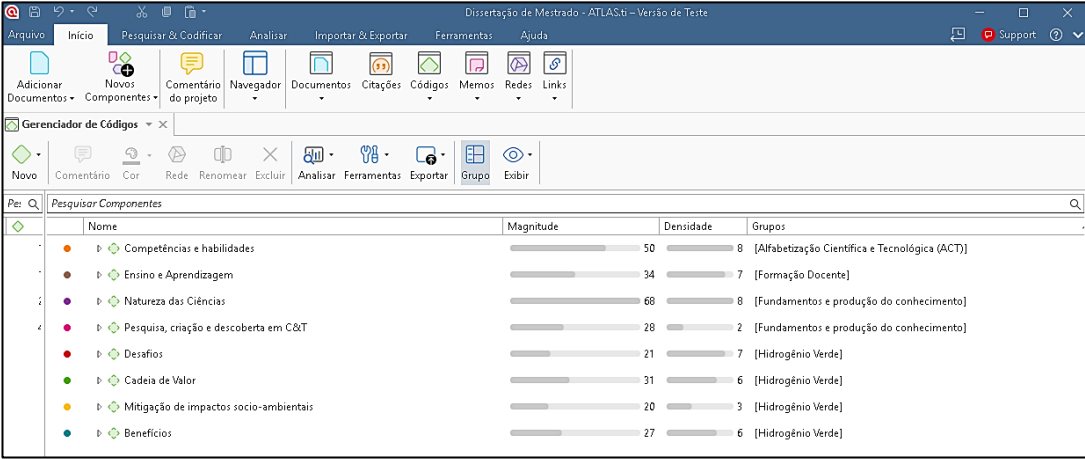
Figura 17: Processo de leitura e codificação das respostas dos participantes



Fonte: o autor, utilizando o *software* Atlas.ti.

As categorias foram, então, organizadas em grupos temáticos, que serão detalhados a seguir. O Grupo 1, intitulado *Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT)*, inclui a categoria de competências e habilidades. O Grupo de *Formação Docente* abrange a categoria de ensino e aprendizagem. Já o Grupo de *Fundamentos e Produção do Conhecimento* reúne as categorias de natureza da ciência, pesquisa, criação e descoberta em ciência e tecnologia (C&T). Por fim, o Grupo *Hidrogênio Verde* contempla as categorias de benefícios, cadeia de valor, desafios e mitigação dos impactos socioambientais. Dessa maneira, a visualização neste programa de computador, não apenas facilitou a identificação dos padrões, mas também tornou o processo de análise mais transparente (Figura 18).

Figura 18: Categorias e grupos obtidos após a codificação dos materiais



Nome	Magnitude	Densidade	Grupos
Competências e habilidades	50	8	[Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT)]
Ensino e Aprendizagem	34	7	[Formação Docente]
Natureza das Ciências	68	8	[Fundamentos e produção do conhecimento]
Pesquisa, criação e descoberta em C&T	28	2	[Fundamentos e produção do conhecimento]
Desafios	21	7	[Hidrogênio Verde]
Cadeia de Valor	31	6	[Hidrogênio Verde]
Mitigação de impactos socio-ambientais	20	3	[Hidrogênio Verde]
Benefícios	27	6	[Hidrogênio Verde]

Fonte: o autor, 2026, utilizando o Atlas.ti.

Neste momento, após entendermos como ocorreu o passo a passo do processo de leitura, codificação e categorização, realizaremos uma análise um pouco mais minuciosa dos grupos temáticos identificados. Cada grupo será examinado individualmente, com trechos selecionados do questionário e entrevista (do primeiro momento pedagógico), desmistificando nuances interessantes das respostas e falas. Ademais, foi feito através do mesmo *software* uma análise de rede para cada um desses grupos, retratando como essas categorias se interligam e constituem um campo semântico rico, refletindo o significado embriado de códigos em seu contexto mais amplo.

Grupo 1: Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT)

Quando os licenciandos foram indagados sobre o que eles julgavam ser importante para uma pessoa ser considerada alfabetizada, científica e tecnologicamente, as respostas variaram entre: a apropriação conceitual e a sua aplicabilidade prática; a valorização do pensamento

crítico e da capacidade analítica; a capacidade de interpretar informações presentes no cotidiano e o papel da mediação docente.

O Aluno 1 e o Aluno 4, afirmaram que ser alfabetizado cientificamente implica compreender conceitos fundamentais da Ciência e relacioná-los com situações do cotidiano. Essa perspectiva pode ser observada quando o Aluno1 diz que *“para ser alfabetizado cientificamente é necessário que a pessoa possa compreender e assimilar conteúdos relacionados à Ciência”*, enquanto o Aluno 4 frisa a importância de *“entender conceitos básicos, relacionados a coisas do dia a dia, para assim poderem ligar os aprendizados aos seus afazeres facilmente”*. Esses relatos expõem uma concepção de ACT associada à apropriação conceitual e à sua aplicabilidade prática, indicando que o conhecimento científico deve ultrapassar o campo teórico e contribuir para interpretar de fenômenos presentes na vida.

Outro ponto de convergência aparece na valorização do pensamento crítico e da capacidade analítica. Algumas respostas indicam que a ACT não se restringe ao domínio de conteúdos, mas envolve o desenvolvimento de habilidades cognitivas que permitam avaliar informações e posicionar-se diante delas. Essa perspectiva é explicitada pela Aluna 5, ao afirmar que a ACT envolve *“pensamento lógico e crítico, entender a linguagem técnica e saber utilizá-la”*. De forma semelhante, o Aluno 7 associa esse processo à *“capacidade de aplicar teorias na prática e desenvolvimento de teorias e técnicas novas a partir de um conhecimento prévio”*. Essas concepções aproximam-se de abordagens que defendem a formação de sujeitos capazes de avaliar criticamente informações científicas e tecnológicas e mobilizar conhecimentos para compreender e intervir em diferentes contextos sociais (Sasseron; Carvalho, 2011; Valladares, 2021).

Também emergem falas que relacionam a ACT à capacidade de interpretar informações presentes no cotidiano, especialmente aquelas mediadas por linguagens científicas e técnicas. Esse aspecto aparece com clareza na fala do Aluno 3, que destaca a importância de reconhecer *“alertas nas embalagens de alimentos”*, além de *“saber diferenciar os símbolos e interpretar um texto”*. De modo similar, o Aluno 9 enfatiza a relevância de entender conceitos químicos e unidades de medida presentes em diferentes produtos e situações do dia a dia, como alimentos, produtos de higiene e fármacos. Tais manifestações sugerem uma compreensão da ACT vinculada à leitura do mundo, mediada pela Ciência, na qual o domínio de símbolos, unidades e conceitos contribui para a interpretação crítica de informações presentes no dia-a-dia.

Contudo, algumas falas introduzem diferenças na forma como o processo de ACT é concebido. Enquanto a maioria dos participantes enfatiza competências individuais relacionadas ao entendimento e aplicação do conhecimento, o Aluno 2, atribui maior relevância

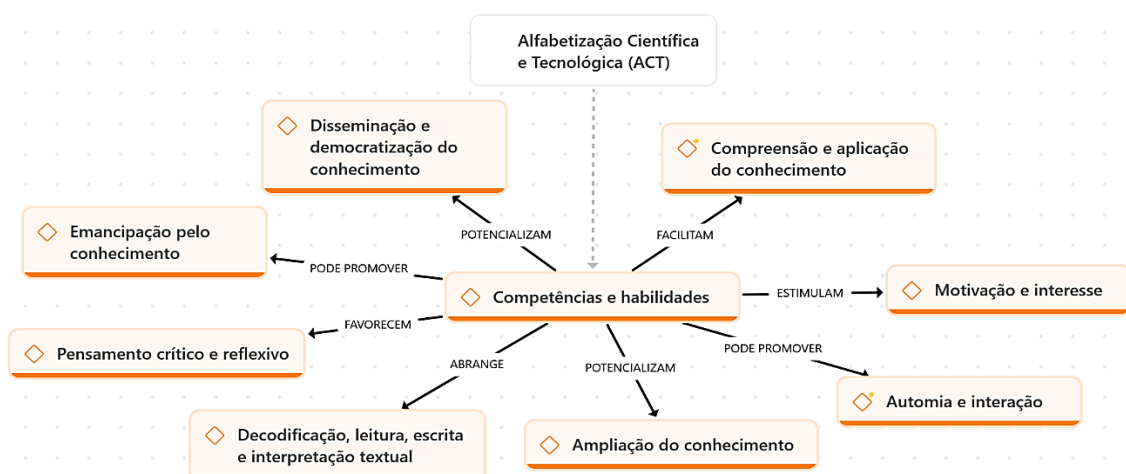
ao papel do docente e às estratégias didáticas nesse processo. Para o participante, a ACT depende de uma mediação pedagógica adequada, afirmando que “*o docente tem que apresentar meios, ou formas didáticas, para apresentar o conteúdo, fazendo com que o aluno fique cativado e queira aprender*”. Essa perspectiva traz uma interpretação que destaca o papel da prática pedagógica e da mediação docente na construção de conhecimentos científicos.

Outra diferença relevante, aparece na fala da Aluna 6, que associa a ACT a uma visão crítica e humanista em relação às tecnologias. Ao afirmar que esse processo envolve uma “*visão crítica e humanista com todas as tecnologias*”, a participante amplia o entendimento da ACT ao incorporar dimensões éticas e sociais relacionadas ao desenvolvimento científico e tecnológico. Essa concepção ultrapassa a dimensão estritamente conceitual do conhecimento científico e aproxima-se de abordagens que defendem a análise das implicações sociais, ambientais e políticas da C&T, tal como a CTSA.

De modo geral, as respostas analisadas indicam que os licenciandos compartilham a percepção de que a ACT envolve compreensão conceitual, aplicação prática e desenvolvimento do pensamento crítico. Todavia, as diferenças observadas sugerem níveis distintos de profundidade na compreensão desse conceito, variando desde uma visão mais centrada na aquisição de conhecimentos básicos até perspectivas que incorporam dimensões pedagógicas, sociais e éticas. Essas variações podem refletir tanto pelas experiências formativas dos participantes, quanto pelas diferentes formas as quais a ACT é/foi discutida ao longo de sua formação inicial.

Para entender melhor a relação existente entre as categorias dentro desse grupo temático, foi efetuada uma análise de rede (*network*), no Atlas.ti, se assemelhando bastante a um mapa mental, nos fazendo visualizar as conexões e articulações entre os conceitos (Figura 19).

Figura 19: Rede grupo temático da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT)



Fonte: o autor, 2026, utilizando o *software* Atlas.ti

Grupo 2: Formação docente em Química

As respostas dos estudantes acerca do papel da Química como Ciência revelam uma percepção inicial que a relaciona à investigação da matéria e de suas transformações, como também às suas contribuições para o avanço C&T. Para alguns participantes, a Química aparece como um campo fundamental para interpretar fenômenos naturais, como expresso na fala do Aluno 7, ao afirmar que ela “permite o entendimento da matéria em sua forma mais fundamental”, e na da Aluna 5, ao destacar que essa ciência “nos permite entender como funcionam as reações que acontecem no mundo”.

Da mesma maneira, o Aluno 3 salienta seu caráter investigativo ao mencionar que suas análises abrangem desde o nível microscópico até o visível. Adicionalmente, algumas falas expandem essa ideia ao relacionar o conhecimento químico com processos de desenvolvimento tecnológico, social e ambiental. Nesse sentido, a Aluna 10 destaca que, por ser “o estudo da matéria”, a Química está intimamente ligada ao desenvolvimento científico, à criação de métodos tecnológicos e à preservação ambiental, enquanto a Aluna 06 associa o desenvolvimento tecnológico à construção de formas mais eficazes de trabalhar e representar reações químicas no cotidiano.

A maioria dos participantes atribui ao professor a responsabilidade de introduzir os estudantes ao conhecimento científico, sendo este visto como aquele que “abre portas” e possibilita o acesso a novos saberes. Esse viés pode ser observado quando se afirma que o professor “tem a missão de preparar seus alunos para o futuro, estes alunos poderão mudar a sociedade” (Aluno 1) e que “é a partir do professor que o conhecimento é repassado” (Aluna 5), além da ideia de que ele “é a parte que liga o aluno ao conhecimento e ao novo mundo” (Aluno 4), reforçando uma concepção em que o docente ocupa uma posição fulcral na formação científica dos sujeitos.

Como complemento, algumas falas reforçam o papel do professor como mediador entre o aluno e o conhecimento, indo além de uma visão meramente transmissiva. O Aluno 6 destaca que “o professor tem o papel de mediador da aprendizagem”, sendo responsável por “estimular o desenvolvimento para potencializar as capacidades dos alunos”. Paralelamente, o Aluno 9 aponta que o professor possui maior domínio do letramento científico e, com isso, pode “ensinar o aluno para não ficar passível de dúvida ou desinformação”, especialmente na Educação Básica. Essas concepções indicam uma aproximação com perspectivas pedagógicas contemporâneas, nas quais o professor não apenas transmite conteúdos, mas também organiza, orienta e potencializa o processo de aprendizagem.

No entanto, emergem também diferenças importantes quanto ao grau de centralidade atribuído ao professor. Enquanto alguns licenciandos, como o Aluno 3, enfatizam que “todo o papel de repassar o conhecimento está com o professor”, outros problematizam essa visão. O Aluno 2, por exemplo, destaca que o processo de ensino e de aprendizagem deve ocorrer como uma “via de mão dupla”, na qual o aluno também é ativo, afirmando que “o aluno sendo motivado em aprender, passa a ser um ser ativo do seu próprio conhecimento”. Essa divergência revela tensões entre uma concepção mais tradicional, centrada no professor, e outra que valoriza o protagonismo discente e a construção ativa do conhecimento.

Outro aspecto relevante, refere-se à necessidade de articulação entre o papel do professor e outros fatores estruturais. Alguns participantes ampliam a discussão, reconhecendo que a ACT não depende exclusivamente do docente. O Aluno 8 ressalta que, embora o professor tenha um papel fundamental na difusão da ACT, “deve-se também existir um trabalho governamental da promoção deste conhecimento”, enquanto a Aluna 10 enfatiza que o professor “precisa ser apoiado pelos alunos, instituição e demais órgãos, para obtermos um desenvolvimento significativo”. Essas falas indicam uma criticidade mais expansiva e sistêmica da educação científica, que transcende os muros da escola e o espaço da sala de aula.

De modo geral, as falas analisadas apontam que os licenciandos reconhecem o professor de Química como um agente fundamental na promoção do saber, seja como transmissor, mediador, ou incentivador da aprendizagem. Ao mesmo tempo, há indícios de uma preocupação com a necessidade de inovação pedagógica, como sugere a Aluna 6 ao afirmar que “devemos também implicar meios de metodologias aplicáveis para esses cidadãos”, evidenciando a importância de práticas didáticas mais dinâmicas e contextualizadas. Assim, as diferenças observadas revelam a coexistência de distintas concepções na formação de professores, o que pode influenciar diretamente suas futuras práticas docentes e na predileção de metodologias.

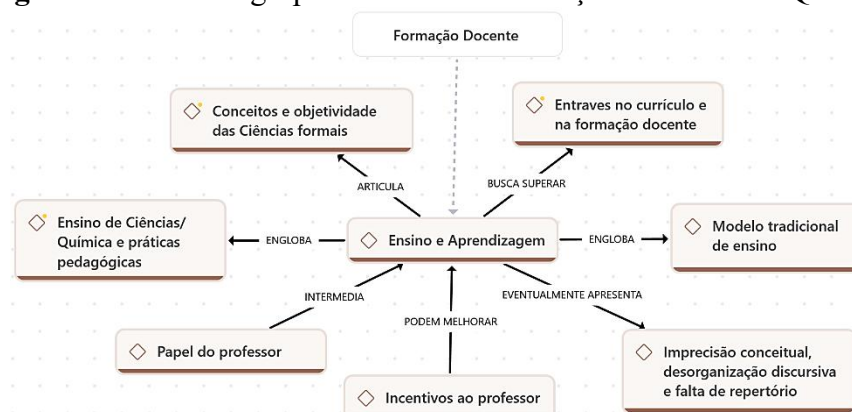
As falas dos licenciandos revelam, em alguns casos, imprecisão conceitual, desorganização discursiva e falta de repertório científico sobre energias renováveis e hidrogênio verde. Um exemplo evidente aparece na fala da Aluna 11, ao afirmar que o H₂V “limpa esses gases” e reduz impactos na camada de ozônio responsáveis pelo aquecimento global, o que demonstra uma confusão entre diferentes problemáticas ambientais, como efeito estufa e destruição da camada de ozônio, além de uma compreensão simplificada do papel do H₂V na transição energética. De modo semelhante, a ausência de experiências relatadas pelo Aluno 9, ao indicar que “não se deparou com nenhuma situação” de aplicação desses conceitos, evidencia uma lacuna formativa no que tange à articulação entre conteúdos científicos e contextos

tecnológicos e sociais. Essas falas apontam para uma apropriação ainda incipiente do tema, marcada por generalizações e pela dificuldade em formalizar conceitos mais específicos.

No que se refere aos entraves enfrentados pelos professores, os licenciandos sublinham limitações estruturais e formativas que dificultam a inserção de temas como ER no Ensino de Química. A Aluna 5, menciona a falta de tempo, recursos e formação docente, enquanto o Aluno 8 aponta que o tema ainda é tratado de forma “rasa” no currículo, o que pode levar a abordagens “arrastadas e mecânicas”. A Aluna 10, também ratifica a presença de currículos engessados e a dificuldade de despertar o interesse dos estudantes e da sociedade para essas questões. Ademais, a fala do Aluno 9 sugere um desafio adicional relacionado à falta de vivência, ou de situações didáticas concretas que permitam a aplicação desses conteúdos. Em conjunto, esses aspectos mostram que os obstáculos não se restringem apenas ao domínio de conceitos, mas envolvem também condições institucionais, curriculares e pedagógicas que impactam diretamente a prática docente.

Por outro lado, as falas também valorizam potencialidades no uso de ER, especialmente H₂V, como recurso didático no Ensino de Química. Os licenciandos destacam que essa temática pode contribuir para a formação do pensamento crítico, como aponta a Aluna 5, além de despertar o interesse dos estudantes e ampliar discussões sobre sustentabilidade. O Aluno 8 ressalta a importância de abordar diferentes tipos de energia e seus benefícios para a sociedade, enquanto a Aluna 10 enfatiza a promoção da proteção ambiental. A Aluna 11 também reconhece que o trabalho com as ER pode favorecer práticas pedagógicas voltadas à sustentabilidade. Dessa forma, verifica-se que a inserção do H₂V no ensino de Química pode atuar como um elemento contextualizador e interdisciplinar, capaz de articular conhecimentos científicos a questões socioambientais da atualidade, corroborando para uma formação mais crítica e cidadã, na opinião dos discentes. O apanhado desse grupo temático pode ser visto pela sua respectiva análise de rede, na Figura 20.

Figura 20: Rede do grupo temático da Formação Docente em Química



Fonte: o autor, utilizando o *software* Atlas.ti

Grupo 3: Fundamentos e produção do conhecimento

O presente grupo temático organiza-se em duas categorias de códigos: *Natureza das Ciências e Pesquisa, criação e descoberta em Ciência e Tecnologia (C&T)*. A análise das falas dos licenciandos permitiu identificar a presença de diferentes compreensões acerca da Ciência e da Tecnologia e de seu desenvolvimento, muitas delas marcadas por concepções já consolidadas e, em alguns casos, arraigadas. Entre essas, destacam-se a visão linear do desenvolvimento científico, bem como perspectivas de caráter técnico, como as visões tecnicista, positivista e tecnocrática, que tendem a entender a Ciência como neutra e orientada exclusivamente pelo progresso.

Por outro lado, também emergem concepções de caráter mais ampliado, como as visões integrativas (humanista, transformadora e holística), que consideram as dimensões sociais e ambientais da Ciência. Além disso, foram identificadas aproximações com a visão falsificacionista, a visão pragmática e funcionalista, bem como com uma visão capitalista da Ciência, ao lado de elementos da perspectiva CTSA, coexistindo múltiplos entendimentos sobre a natureza e o papel da Ciência e da Tecnologia na sociedade. Na Quadro 14, quantifica-se as citações para cada um desses códigos, durante as falas. E são atribuídos um, ou dois, exemplos da identificação dessas citações codificadas.

Quadro 14: Códigos e ocorrências das visões dos estudantes sobre a C&T

Código	Ocorrência	Exemplos
Visão linear do desenvolvimento	15	<i>“A Ciência e a Tecnologia se complementam, formando assim, um grande avanço de benefícios para a sociedade e meio ambiente”</i> (Aluna 11, Questionário IV). <i>“O avanço da ciência permite o avanço da tecnologia e vice-versa, que garantem o aprimoramento da sociedade em conformidade com a natureza”</i> (Aluno 7, Questionário IV).
Visões técnicas (tecnicista, positivista e tecnocrática)	09	<i>“Conjunto de ferramentas necessárias para atender determinados objetivos”</i> (Aluna 10, Questionário IV). <i>“É o conjunto de técnicas e maquinários utilizados para atingir um objetivo”</i> (Aluno 7, Questionário IV).
Visões integrativas (humanista, transformadora e holística)	05	<i>“Ciência, em minha opinião, é um estudo no qual é tratado diversos fenômenos, experiências e fatos sobre a nossa existência, ou seja, a Ciência ela é um estudo sobre os diversos acontecimentos na vida aqui na Terra”</i> (Aluno 8, Questionário IV).
Visão pragmática e funcionalista	06	<i>“Analisar tecnologias, desenvolvê-las, observar seus impactos para a melhorar sua funcionalidade para os seres humanos e seres vivos”</i> (Aluno 4, Questionário IV).
Visão falsificacionista	02	<i>“É um compilado de saberes baseado em teorias lógicas não imutáveis que permite o entendimento e manipulação da natureza”</i> (Aluno 7, Questionário IV).
Visão Capitalista	01	<i>“Sim, contudo terá que ser num futuro bem distante acredito. O H₂V é um bom recurso, porém pouco utilizado, fazendo com que o torne muito caro. Os ricos deveriam começar a usar, para acharem legal, depois iria descendo”</i> (Aluna 6, Questionário IV).

CONTINUAÇÃO

Epistemologia crítica	01	“Os fenômenos a serem explicados correspondem ao processo de compreensão e de preservação do conhecimento que produzimos” (Aluno 3, Questionário IV).
Perspectiva CTSA	30	“São importantes, pois a Ciência permite à sociedade compreender o mundo e os impactos na natureza. Com o conhecimento do mundo e de seus impactos, é possível criar tecnologias que minimizem esses impactos” (Aluna 8, Questionário IV). “Seu papel, é promover a modernização da sociedade, de modo que a responsabilidade científica seja considerada nas decisões sociais, buscando também formas mais adequadas de representação e cuidado com o meio ambiente” (Aluno 3, Questionário IV).

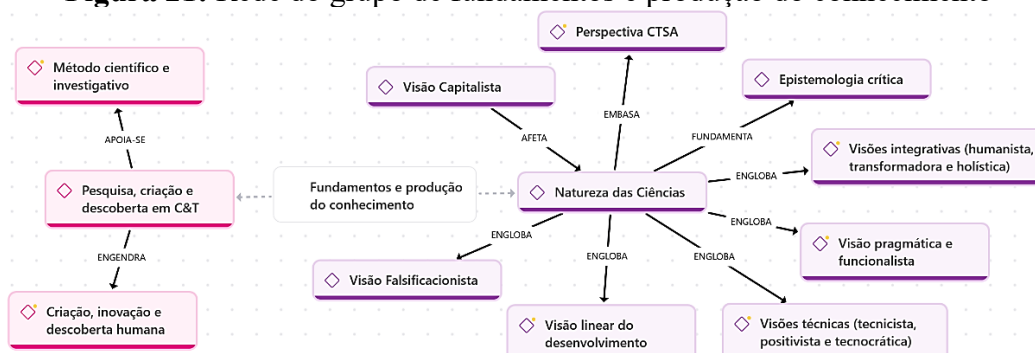
Fonte: o autor, 2026.

Como podemos perceber no Quadro 14, os códigos que possuem maior ocorrência são a visão linear do desenvolvimento, as visões técnicas e a perspectiva CTSA. Essas são as três que os estudantes mais mencionaram em suas respostas ao questionário. Ademais, o Aluno 7 apresentou diversas visões distintas, porém, essas visões se distribuem nas quatro questões que tratam do bloco C&T, mas acaba gerando um conhecimento mais caótico e confuso, do ponto de vista da coesão e consolidação sobre a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Além dos códigos elencados no Quadro 14, que compõem o 3º grupo temático, fazem parte também a categoria “Pesquisa, Criação e Descoberta em C&T”. Pode-se observar por meio de seus códigos, que há uma forte presença do método científico e investigativo, com 13 ocorrências, e da criação, inovação e descoberta humana, com 15 ocorrências.

Esses códigos evidenciam que a maioria dos alunos acredita que o desenvolvimento da C&T precisa passar pelo método científico, o que é reflexo do ensino escolar que possivelmente tiveram na etapa da Educação Básica, na qual o passo a passo da pesquisa é fortemente trabalhado, inclusive nos livros didáticos de Ciências, que os professores reforçam. Ao mesmo tempo, a criação, inovação e descoberta humana, para esses alunos, é fruto da curiosidade, que gera novos objetos de pesquisa e é crucial para o desenvolvimento de novas tecnologias, apoiadas na criatividade e no aprimoramento do conhecimento tecnológico. A seguir, está a análise de Rede para este grupo temático (Figura 21).

Figura 21: Rede do grupo de fundamentos e produção do conhecimento



Fonte: o autor, 2026, utilizando o software Atlas.ti

Grupo 4: Hidrogênio Verde

As respostas dos licenciandos convergem na compreensão geral do H₂V como uma alternativa energética sustentável. A maioria dos participantes associa o H₂V à ideia de “*energia limpa*”, “*fonte renovável*” ou “*combustível do futuro*”, destacando principalmente seus benefícios ambientais. Isso pode ser observado em trechos como: “*é um tipo de energia limpa que não causa danos ao meio ambiente*” (Aluno1), “*uma nova forma de energia mais sustentável*” (Aluno 3) e “*uma forma sustentável que busca reduzir os impactos ambientais*” (Aluna 11). De modo semelhante, o Aluno 4 afirma que o hidrogênio pode ser utilizado “*sem causar poluição*”, reforçando essa visão ambientalmente orientada e bastante recorrente.

Não obstante, algumas falas apresentam um nível mais elaborado, saindo do senso comum, incorporando aspectos técnico-científicos relacionados à produção e aplicação do H₂V. Nesse sentido, destacam-se respostas como a da Aluna 5, que afirma que o H₂V: “*é produzido a partir da eletrólise utilizando energias renováveis e sua combustão forma apenas água*”, e a da Aluna 6, que também menciona a “*eletrólise da água, utilizando fontes [...] como eólica e solar*”. Além disso, há participantes que ampliam o escopo ao abordar aplicações tecnológicas, como o Aluno 7, ao indicar o seu uso: “*em motores diversos como combustível*”, e o Aluno 08, que cita sua utilização em “*indústria, automóveis [e] tecnologias de abastecimento de energia*”. Essas falas indicam maior apropriação conceitual e proximidade com o tema.

Em contraste, algumas respostas revelam compreensões mais superficiais ou imprecisas, evidenciando lacunas no entendimento do tema. O Aluno 2, por exemplo, menciona que a produção está, “*em passos curtos devido ao alto custo sobre o transporte*”, sem explicitar claramente o conceito de H₂V. Já a Aluna 10, apresenta uma ideia pouco clara ao afirmar que ele é aplicado pela “*transformação de energia, através da catalização do hidrogênio*”, sugerindo confusão conceitual. Por sua vez, o Aluno 3, traz uma dimensão contextual ao relatar que “*foi a 2 palestras*” e que “*já chegou um barco movido a H₂V no Ceará*”, o que demonstra uma aproximação social com o tema, ainda que com menor aprofundamento de conceitos. Assim, as falas demonstram diferentes níveis de compreensão, que variam entre uma visão geral e ambiental, uma abordagem mais técnica e, de outra maneira, com interpretações ainda incompletas, ou imprecisas.

Outro ponto que merece ser esmiuçado, é que a maioria destaca o H₂V como uma alternativa limpa aos combustíveis fósseis, enfatizando sua vantagem para a mitigação do aquecimento global. Ao lermos respostas como: “*pode ajudar a diminuir a emissão de gás carbônico*” (Aluno 1), “*não ter mais tanto gasto de CO₂ emitido para a atmosfera*” (Aluna 6)

e “*não há liberação de gases poluentes [...] como o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2)*” (Aluno 9). Além desse ponto, há um consenso geral de que essa substituição energética impacta positivamente o meio ambiente, como afirma a Aluna 10, por exemplo, ao estabelecer que “*diminuição da necessidade de combustíveis agride[m] [...] o meio ambiente*”.

Como contrapeso, algumas falas demonstram maior apropriação de conceitos científicos ao explicarem os mecanismos pelos quais o H_2V melhora essa redução de impactos. Nesse viés, destacam-se respostas, como a da Aluna 5, que aponta o H_2V , como sendo “*produzido de forma limpa e sua combustão forma água*”, e do Aluno 7, ao afirmar que o “*resíduo deixado após sua combustão [...] é basicamente H_2O* ”. O Aluno 4, também reforça essa ideia ao mencionar a “*emissão zero*” e a redução de gases poluentes em diferentes aplicações. Esses trechos indicam uma certa consistência da relação entre processos químicos e seus efeitos ambientais, articulando C&T de maneira mais coerente.

Em compensação, algumas respostas revelam parcialidade, generalizações ou mesmo equívocos conceituais. O Aluno 3, por exemplo, associa o uso do H_2V à redução de “*índices de câncer no pulmão*”, “*raios solares*” e “*afinamento na camada de ozônio*”, misturando fenômenos distintos das mudanças climáticas e atrelando causalidade a saúde humana. De forma análoga, a Aluna 11 afirma que o H_2V “*limpa esses gases*”, sugerindo uma interpretação incorreta do processo. Já o Aluno 9 expressa incerteza inicial, “*Como contribui, eu não sei!*”, embora posteriormente reconheça a ausência de emissões como fator positivo. Paralelamente a essas respostas, como a do Aluno 8, permanecem mais superficiais, pois apenas citam o uso em “*automóveis*” sem elucidar a relação direta com a redução dos impactos climáticos.

Além das respostas supracitadas, ocorreram falas na entrevista do primeiro momento pedagógico que merecem destaque, as quais foram gravadas e transcritas. Por exemplo, quando o entrevistador questiona se alguém gostaria de comentar sobre os impactos sociais, um aluno relata do impacto da instalação de turbinas eólicas para a produzir H_2V , principalmente *offshore* (no mar), tanto na paisagem, quanto como elas afetam a fauna marinha e consequentemente a economia de regiões costeiras e o quanto isso reverbera na atividade pesqueira:

Aluna 10: *Então, eles não têm mais com o que trabalhar, onde comer, onde caçar, ou o que conseguir encontrar, já que essas comunidades vivem basicamente do meio ambiente.*

Aluno 1: *Outros impactos que podem acontecer é, a instalação dessas usinas eólicas, como é?*

Entrevistador: *Offshore?*

Aluno 1: *É! Elas podem alterar a paisagem turística do local. Então, vai ter um impacto econômico também. E esse impacto econômico pode refletir nas comunidades próximas, trazendo um ambiente de insegurança alimentar.*

Entrevistador: *Perfeito!*

Aliás, a fala do Aluno 1 corrobora com a análise apresentada no texto de Mello, Malerba e Tupinambá (2024, p. 19):

Os impactos nas comunidades pesqueiras que dependem dos recursos marinhos próximos às áreas de implantação das eólicas offshore são notáveis. Elas seriam afetadas pelas mudanças nos padrões de migração de peixes, restrições de acesso a certas áreas de pesca e potencial competição por espaço marinho com implicações na segurança alimentar e na renda das populações locais, impactos que também podem afetar a pesca empresarial/industrial.

Com efeito, o discurso das autoras, mencionado anteriormente, pondera os impactos nas comunidades pesqueiras, que dependem dos recursos marinhos nas proximidades das usinas eólicas *offshore*. Outra fala que chamou bastante atenção foi o relato sobre o assédio às mulheres nessas regiões, uma realidade já existente, mas que pode se agravar com a instalação das turbinas eólicas e painéis solares voltadas a produção de hidrogênio verde.

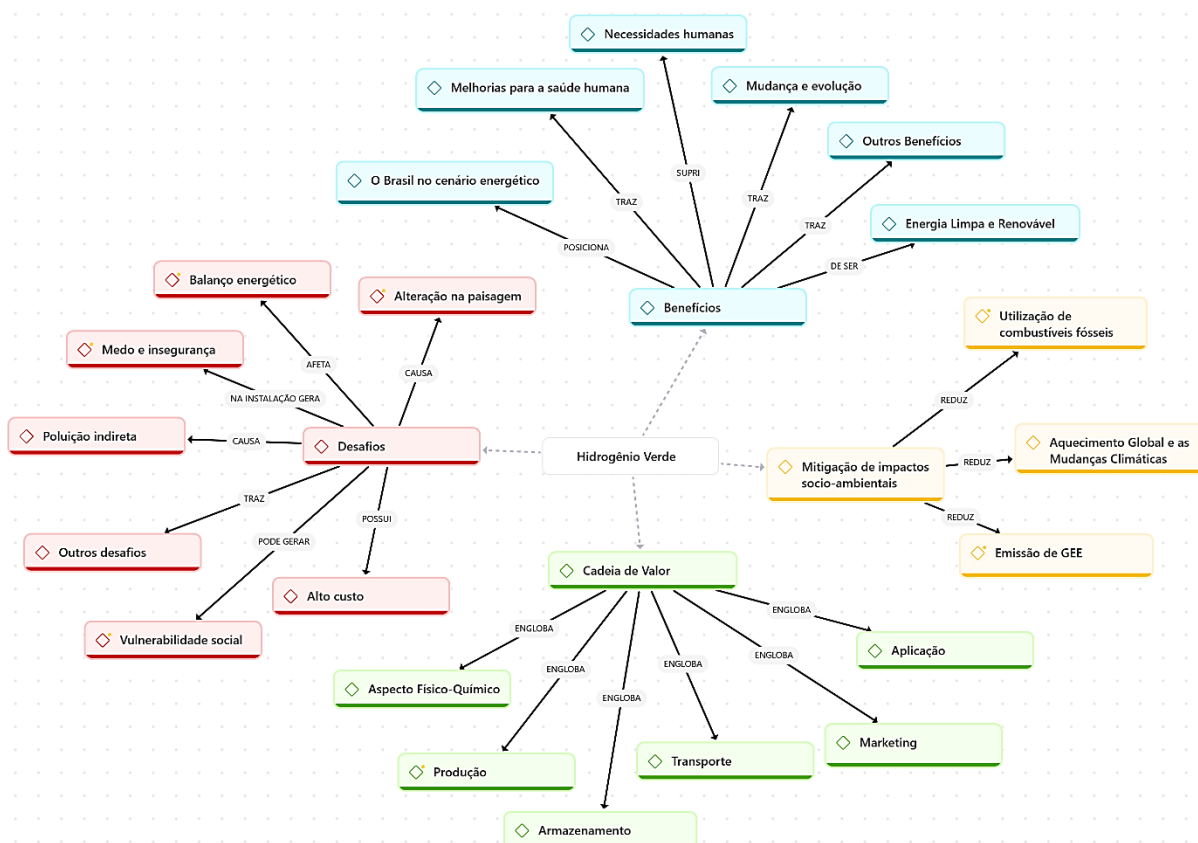
Aluna 10: *Querendo ou não esse medo da comunidade pesqueira, desses novos habitantes... Né? Ali da região... que no caso, são em sua maioria, homens que vão fazer a instalação das placas solares e dos ventiladores eólicos, né? [...] Vai trazer uma consequência de medo também porque são pessoas, [...] estranhas que eles não sabem da índole. As casas são muito afastadas, em sua maioria mulheres, vivendo sozinhas, com suas filhas enquanto, os pescadores (seus maridos), estão fora a trabalho, ou passam boa parte do tempo fora e, quando voltam, muitas vezes estão embriagados ou não estão em condições tão lúcidas para se defender. Ai vem esses homens, se aproveitam dessa situação porque sabe que não vai ter quem defender, ou sabe que não... que aquela pessoa não tem conhecimento, também para se defender. Nem acesso a qualquer tipo de recurso. [...] Então para eles, naquele momento, enquanto conjunto, grupo, querendo ou não, quando vão montar esse tipo de tecnologia é um grupo muito grande de pessoas. A vítima, muitas vezes, ou as vítimas, se sentem com medo de relatar. Amedrontadas! Porque sabe que eles são uma maioria. E, novamente, não tem conhecimento de como lidar com aquele fato.*

A fala da Aluna 10, também confirma o que se afirma no texto de Mello, Malerba e Tupinambá (2024, p. 19, grifo nosso), quando escrevem,

[...] a implantação da infraestrutura para a produção do hidrogênio dito “verde” trará impactos negativos para as comunidades, pela necessidade de expansão de renováveis de grandes dimensões como as eólicas em terra e no mar, as plantas solares, cujas obras se caracterizam pela: **vulnerabilização das mulheres, exploração sexual, gravidez indesejada**, uso abusivo de drogas, aumento do fluxo de veículos pesados, riscos de acidentes e mortes, geração de empregos temporários e precarizados, interrupção nas passagens entre comunidades e ecossistemas, isolamento das comunidades e agravamento de conflitos fundiários.

Assim, a fala da aluna em concomitância a citação anterior, ratifica a dimensão social desses impactos, trazendo à tona a situação de vulnerabilidade social, o que coloca “sobre a mesa de negociação” a complexidade de outros processos pertinentes e, não menos importantes, para a efetivação da transição energética em nosso país.

Como fechamento desse grupo temático e da seção, apresenta-se a análise de Rede do Atlas.ti (Figura 22), disposta a seguir.

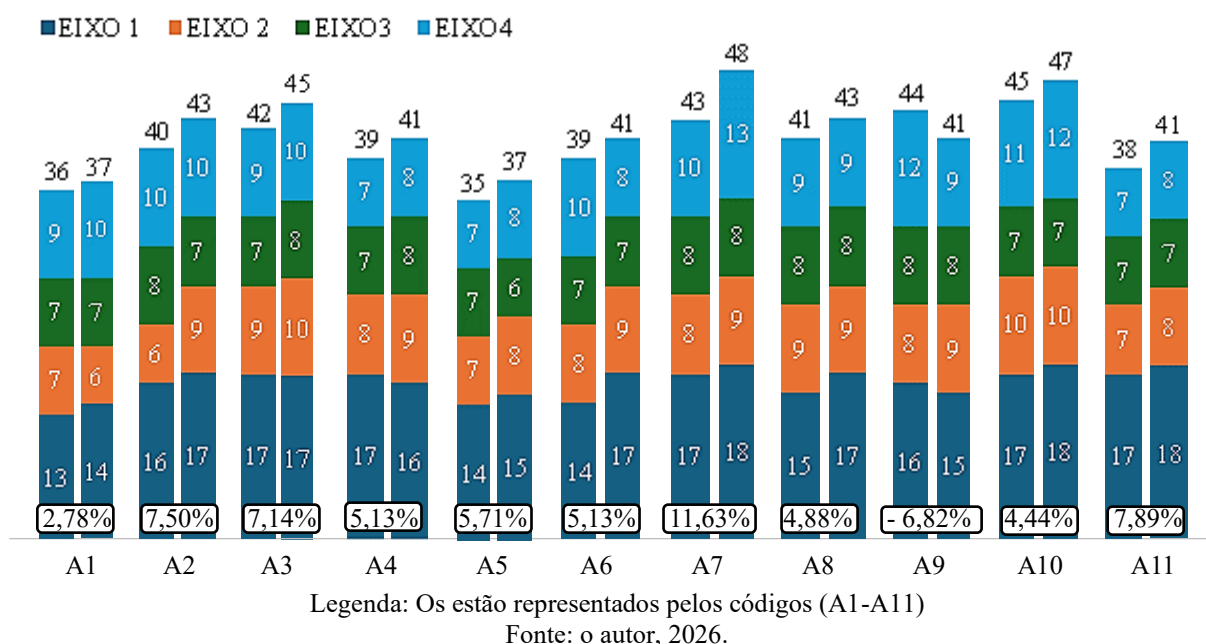
Figura 22: Rede do grupo temático hidrogênio verde

Fonte: o autor, 2026, utilizando o *software* Atlas.ti.

3.4 Análise comparativa do TACB-A

Nos resultados da presente dissertação, realizamos uma análise comparativa do TACB-A, no qual foi incorporado um quarto eixo temático. Os eixos do teste foram cuidadosamente construídos para abranger diferentes dimensões da AC, e cada eixo deveria ser validado com um mínimo de 60% de acertos pelos participantes. O teste foi aplicado a 11 participantes, cujas respostas, em cada item, eram classificadas como verdadeiras, ou falsas. A comparação foi realizada entre o pré-teste, aplicado antes do primeiro momento pedagógico, e o pós-teste, aplicado após o terceiro momento pedagógico.

É importante ressaltar o papel fundamental do TACB-A como instrumento de avaliação. Ele foi essencial para mensurar o progresso na ACT ao longo da intervenção pedagógica. Esse acompanhamento se mostra crucial, pois permite perceber se houve uma evolução significativa nas concepções científicas dos participantes. Os dados obtidos foram tabulados no Microsoft *Excel*, onde também foram realizados os cálculos das variações percentuais. A seguir, no Gráfico 6, que ilustra as variações nos acertos obtidos.

Gráfico 6: Comparativo de acertos por eixo das respostas de cada estudante

Após o Gráfico 6, cabe destacar que os alunos foram organizados em ordem de códigos, de A1 a A11. Cada aluno é representado no gráfico por duas barras: a primeira, da esquerda para a direita, corresponde ao desempenho no pré-teste, e a segunda, ao desempenho no pós-teste. Além disso, cada barra é subdividida em quatro cores: o azul escuro representa o Eixo 1 (*Entendimento dos Conteúdos da Ciência*), o laranja representa o Eixo 2 (*Entendimento da Natureza das Ciências*), o verde representa o Eixo 3 (*Entendimento do Impacto da Ciência e Tecnologia na Sociedade e no Ambiente*), e o azul claro representa o Eixo 4 (*Entendimento dos Conteúdos Gerais e Específicos da Proposta CTSA*). O Eixo 1 possui 19 questões, o Eixo 2 tem 10, o Eixo 3 conta com 8, e o Eixo 4 apresenta 13 enunciados verdadeiros ou falsos.

Ao analisar o desempenho individual, observou-se que o aluno com o menor número de acertos iniciou com 35 questões corretas no pré-teste e alcançou 37 no pós-teste. Já o aluno com o maior número de questões corretas obteve 43 no pré-teste e 48 no pós-teste. Vale destacar que nenhum participante conseguiu acertar todas as questões do teste. No entanto, alguns alunos apresentaram melhorias significativas. O aluno com a menor melhora foi o Aluno 1, que teve uma variação de 2,78%. Por outro lado, o aluno com a maior melhora foi o Aluno 7, que obteve um aumento de 11,63%. Apenas um aluno teve uma regressão no desempenho, o Aluno 9, que apresentou uma queda de 6,82% entre o pré e o pós-teste.

Para uma compreensão mais detalhada do percentual de acertos por eixo e da proporção de questões corretas por aluno em cada eixo, foi elaborada a Tabela 8. Nela, verificou-se a proficiência de cada aluno, permitindo identificar se houve progressão, regressão ou

estabilidade no percentual de acertos em cada um dos eixos. Dessa forma, foi possível acompanhar de forma mais precisa a evolução ou estabilidade do desempenho de cada estudante, em cada dimensão avaliada.

Tabela 8: Proficiência de acertos em porcentagem dos alunos por eixo

ID	EIXO 1		EIXO 2		EIXO 3		EIXO 4	
A1	68%	74%	70%	60%	88%	88%	69%	77%
A2	84%	89%	60%	90%	100%	88%	77%	77%
A3	89%	89%	90%	100%	88%	100%	69%	77%
A4	89%	84%	80%	90%	88%	100%	54%	62%
A5	74%	79%	70%	80%	88%	75%	54%	62%
A6	74%	89%	80%	90%	88%	88%	77%	62%
A7	89%	95%	80%	90%	100%	100%	77%	100%
A8	79%	89%	90%	90%	100%	100%	69%	69%
A9	84%	79%	80%	90%	100%	100%	92%	69%
A10	89%	95%	100%	100%	88%	88%	85%	92%
A11	89%	95%	70%	80%	88%	88%	54%	62%

Legenda: Os estão representados pelos códigos (A1-A11). A cor verde representa melhora, a cor azul, estabilidade e a cor vermelha, regressão.

Fonte: o autor, 2026.

A interpretação da Tabela 8 revela, de forma clara, as variações no desempenho dos alunos. Ela foi colorida em três tons: verde, azul e vermelho. A cor verde indica que o aluno obteve uma melhora, ou seja, houve um aumento no percentual de acertos. A cor azul representa uma estabilidade, sem crescimento nem redução. E a cor vermelha sinaliza uma regressão no desempenho. Dessa forma, a tabela permite visualizar rapidamente quem avançou, quem se manteve estável e quem regrediu. Especificamente, o Aluno 4 e o Aluno 9 tiveram regressão no eixo 1. O aluno 1 regrediu no eixo 2. Já o Aluno 2 e a Aluna 5 apresentaram regressão no eixo 3. Por fim, a Aluna 6 e o Aluno 9 tiveram regressão no eixo 4.

A maior parte dos alunos que se manteve constante, ou seja, sem aumento nem redução no desempenho, foi observada no eixo 3. Contudo, apesar de se manter constante, o eixo 3 foi o que apresentou a maior quantidade de alunos com 100% de acertos, ou seja, eles obtiveram êxito absoluto nesse eixo. Os demais eixos, no entanto, apresentaram uma maior quantidade de alunos que progrediram na AC. Em especial, no eixo 4, observamos alunos que, inicialmente, estavam em um nível baixo de alfabetização e, no pós-teste, conseguiram superar essa barreira, alcançando a proficiência, ou seja, uma verdadeira evolução na compreensão científica.

Na Tabela 9, a seguir, serão apresentados os números de acertos obtidos no pré-teste e no pós-teste, de cada item, a fim de identificar quais se situam nas faixas de dificuldade fácil, médio e difícil. Para todas as três faixas, foi realizada a média aritmética dos acertos do pré-teste e do pós-teste. Dessa forma, os itens foram classificados de acordo com a quantidade de

acertos: se a média ficou entre 1 e 3, o item foi considerado difícil; entre 4 e 7, intermediário; e entre 8 e 11, fácil.

Tabela 9: Distribuição dos acertos e classificação de dificuldade dos itens do TACB-A

Eixo 1			Eixo 2			Eixo 4		
	Pré-teste	Pós-teste		Pré-teste	Pós-teste		Pré-teste	Pós-teste
1.	8	10	20.	8	11	38.	7	8
2.	11	11	21.	10	11	39.	5	6
3.	5	8	22.	8	10	40.	11	11
4.	7	8	23.	10	10	41.	7	4
5.	6	7	24.	10	11	42.	11	11
6.	9	8	25.	9	8	43.	11	11
7.	11	10	26.	3	3	44.	3	2
8.	5	10	27.	11	11	45.	4	10
9.	5	9	28.	7	8	46.	6	4
10.	10	11	29.	9	11	47.	11	11
11.	9	8	Eixo 3			48.	11	11
12.	10	10	30.	11	9	49.	11	11
13.	9	8	31.	11	11	50.	2	3
14.	11	11	32.	11	9			
15.	10	10	33.	7	6			
16.	7	8	34.	11	11			
17.	11	11	35.	10	10			
18.	11	8	36.	11	11			
19.	11	11	37.	11	11			

Legenda: cor branca, representa itens considerados fáceis, cor azul, médios e cor vermelha, difíceis.

Fonte: o autor, 2026.

De acordo com a Tabela 9, observa-se que, no Eixo 1, foram identificados 6 itens (31,5%) com nível médio, enquanto os demais 13 itens, foram classificados como fáceis, não havendo nenhum item de nível difícil. No Eixo 2, houve 1 item médio (10%) e 1 item difícil (10%), enquanto os outros 8 itens (80%), foram classificados como fáceis. No Eixo 3, identificou-se 1 item de nível médio (14,28%), e os demais, 7 itens, são fáceis (87,5%). Por fim, no Eixo 4, foram encontrados 5 itens de nível médio, correspondendo a 38,46% do total, e 2 itens de nível difícil, representando 15,38%. Dessa forma, dos 13 itens analisados, pouco mais da metade se distribui entre níveis médio e difícil.

Os itens considerados difíceis foram o 26, o 44 e o 50. O item 26 pertence ao Eixo 2, e sua afirmativa é verdadeira, pois, ao conduzir uma investigação, o cientista não deve se sentir pressionado a alcançar um resultado específico, preservando a imparcialidade e a integridade da pesquisa. O item 44, por sua vez, é falso, pois, embora os eletrolisadores PEM e as células a combustível envolvam processos eletroquímicos, elas não são idênticas; as células a combustível convertem energia química em elétrica, mas o processo é inverso ao da eletrólise, que consome energia. Já o item 50 é falso, pois, no processo de eletrólise da água, o hidrogênio é produzido no ânodo, mas o processo é não espontâneo, ou seja, a energia livre de Gibbs (ΔG) é positiva, exigindo um aporte de energia externa para que a reação ocorra.

3.5 Experimentos e relatórios correspondentes

Dando início ao terceiro momento pedagógico, os alunos foram convidados a se dirigir ao Laboratório de Potência e Controle (LPC). No lado externo, estava disposta uma placa solar de 250 watts. Os alunos foram incentivados a observar essa placa, compreendendo como ela converte a energia solar em energia elétrica, a qual é fornecida ao protótipo. Essa conversão ocorre por meio de células fotovoltaicas, que, ao absorverem a luz, excitam os elétrons em materiais semicondutores, gerando corrente elétrica. Vale destacar que a placa possui ranhuras de metal em seu interior, e a disposição dessas ranhuras, junto ao efeito fotovoltaico, permite a geração de uma corrente elétrica contínua. Foi também detalhado o tamanho da placa, assim como o uso da fiação, com um fio vermelho representando o polo positivo (ânodo) e um fio preto representando o polo negativo (cátodo), alimentando o protótipo gerador.

Após essa explicação, eles foram convidados a entrar no laboratório, formando um círculo a uma distância segura do protótipo, que simulava um eletrolisador alcalino. Além disso, houve uma série de outras recomendações técnicas para garantir a segurança do grupo. Nesse ambiente, foi possível observar a reação de eletrólise da água, efetuada no interior dos potes de vidro de 1650 mL, já contendo uma solução eletrolítica de hidróxido de potássio (KOH) à 5M. Os licenciandos, acompanharam atentamente o desenvolvimento da reação (Figura 23).

Figura 23: Observação da placa solar e do protótipo em funcionamento



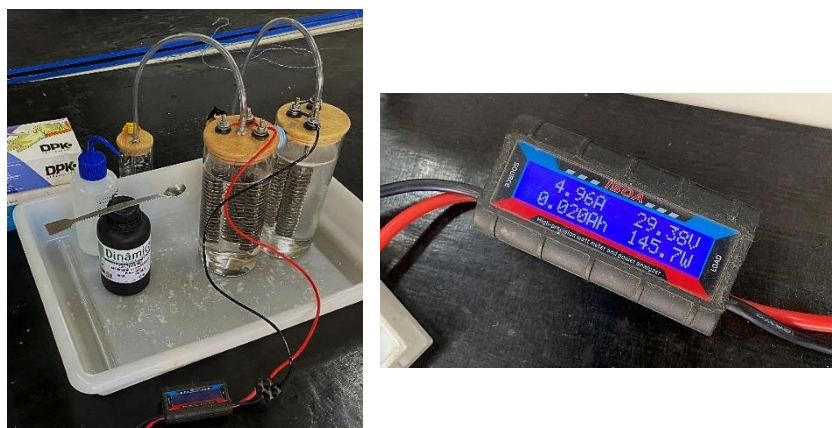
Legenda: foto retirada no IFCE-Campus Maracanaú.
Fonte: arquivo pessoal do pesquisador, 2026.

Na Figura 23, podemos observar, no lado esquerdo, os alunos visualizando o protótipo, enquanto, no lado direito, eles estão observando o painel solar. Na visualização do protótipo, o pesquisador explicou detalhadamente como ele foi construído, abordando todas as suas informações técnicas, desde a montagem dos eletrodos até a união dos dois potes, seguindo o

princípio dos vasos comunicantes. Ele também detalhou como foi feita a preparação da solução do eletrólito e a disposição dos fios em série nos três eletrodos em cada um dos potes maiores, de modo a permitir a produção de gás hidrogênio (H_2), no cátodo e íons hidroxila (OH^-). Já no ânodo, era visualizada a oxidação dos íons hidroxila, liberando gás oxigênio (O_2) e regenerando as moléculas de água. Estes gases estavam sendo conduzidos por uma mangueira de PVC e borbulhados nos potes pequenos de 250 mL, contendo água deionizada, e que era coletado, logo após, em balões, na saída do gás através do *niple* (Figura 24).

A proporção volumétrica dos gases obtidos durante o experimento apresentou a relação de dois volumes de hidrogênio para um volume de oxigênio (2:1), conforme previsto para o processo de eletrólise da água. No decorrer da operação, foram monitorados, por meio de um multímetro digital, valores médios de corrente de 4,96 A e tensão de 29,38 V, correspondendo a uma potência elétrica de aproximadamente 145,7 W (Figura 24). Tais parâmetros são fundamentais para a análise do desempenho do sistema eletrolítico.

Figura 24: Protótipo montado e multímetro digital com as informações monitoradas



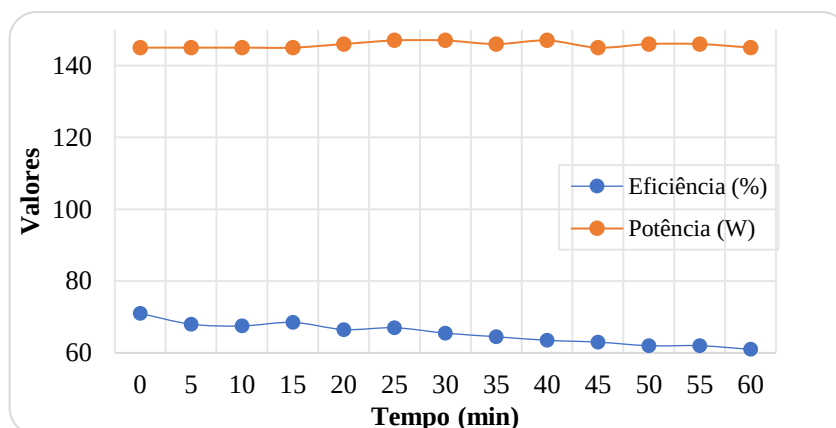
Fonte: o autor, 2026.

Adicionalmente, foram identificadas diferenças morfológicas no comportamento das bolhas formadas nos eletrodos. No ânodo, as bolhas apresentaram maior diâmetro e desprendimento mais lento da superfície, enquanto no cátodo observou-se a formação de bolhas menores, mais dinâmicas e com aspecto esbranquiçado. Essas distinções podem ser interpretadas pela estequiometria da reação, uma vez que a quantidade de H_2 gerada é superior à de O_2 , influenciando diretamente a dinâmica de formação e liberação dos gases.

Com o intuito de melhorar a compreensão acerca do desempenho do sistema, investigou-se a eficiência ao longo de um intervalo de 60 minutos (Gráfico 7), considerando a relação entre a energia elétrica fornecida e a quantidade de hidrogênio produzida. A análise desse parâmetro é relevante, pois está diretamente associada à viabilidade energética e

econômica do processo. Sistemas mais eficientes tendem a apresentar menor dissipação de energia, contribuindo para a sustentabilidade da tecnologia. Além disso, a avaliação da eficiência possibilita a identificação de limitações operacionais, como perdas por resistência interna, bem como a comparação com outros sistemas descritos na literatura (Silva; Vasconcellos; Ferraz, 2023; Sousa, 2013).

Gráfico 7: Variação de Potência (W) e Eficiência (%) em função do tempo



Fonte: o autor, 2026.

Recorrendo ao Gráfico 7, percebe-se que a eficiência, definida como a razão entre a energia química do H_2 produzido e a energia elétrica consumida, multiplicado por 100, é desenvolvida pelas Equações 11, 12 e 13, adaptadas de Bailón, Rodriguez e Woocay (2021):

$$E_{química} = V_{H_2} \times PCI_{H_2} \quad (11)$$

$$E_{elétrica} = V \times I \times t \quad (12)$$

$$\eta (\%) = \frac{E_{química}(H)}{E_{elétrica}} \times 100 \quad (13)$$

Na Equação 1, V_{H_2} refere-se ao volume de hidrogênio produzido, expresso em litros, enquanto o PCI_{H_2} corresponde ao poder calorífico inferior do hidrogênio, adotado como 120 MJ/kg. Na expressão subsequente, a variável (V) representa a tensão elétrica (em volts), (I) a corrente elétrica (em amperes) e (t) o tempo de operação do sistema (em segundos).

A análise do comportamento da eficiência ao longo do tempo indica que, nos primeiros 25 minutos, esse parâmetro permaneceu relativamente estável, situando-se na faixa entre 65% e 73%. Após esse intervalo, observou-se uma discreta redução nos valores, o que pode estar associado a fatores como o acúmulo de gases no interior do sistema e variações na incidência de radiação solar. Em contrapartida, a potência elétrica consumida manteve-se próxima de 145 W durante todo o experimento, apresentando apenas pequenas oscilações. Esse comportamento sugere uma operação energeticamente estável, mesmo diante das variações na eficiência.

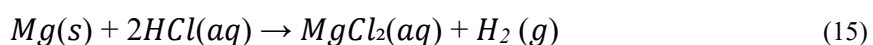
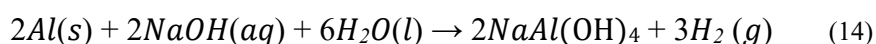
De modo geral, os resultados indicam que o protótipo apresenta potencial para a produção de hidrogênio verde (H_2V). Entretanto, a otimização do sistema ainda demanda ajustes operacionais, como o controle mais rigoroso da temperatura, o aprimoramento das condições de ventilação e pressão, além da realização de testes com diferentes concentrações de eletrólito, visando maximizar seu desempenho (Sousa, 2013).

Com a demonstração desse protótipo, percebeu-se o entendimento dos licenciandos de aspectos conceituais (oxirredução, eletrólise, condutividade iônica, estequiometria e transformação de energia). Ao observar o funcionamento real do sistema consolidou-se o que eles tinham visto durante a aula expositiva (2º momento pedagógico), conseguindo fazer relações entre a teoria e a prática, superando abordagens fragmentadas e abstratas.

Além disso, há um ganho na dimensão tecnológica e experimental, uma vez que o contato com um sistema funcional, ainda que em escala didática, possibilita compreender aspectos práticos como a montagem, operação, variáveis de controle e limitações do processo. Isso reduz a distância entre o Ensino de Química e as aplicações tecnológicas reais, tornando a aprendizagem mais palpável.

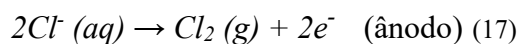
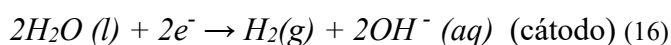
Quando a demonstração do protótipo foi finalizada, os futuros professores de Química, foram direcionados para o espaço de outro laboratório (LAQAMB), para a realização de três experimentos. O primeiro experimento foi adaptado de Oliveira, Coelho e Silva (2016, p.32-35), os alunos pesaram cerca de 2,5 gramas de aparas de magnésio metálico e, após medir 50 ml de ácido clorídrico, previamente preparado (HCl 1M), em uma proveta, transferiram o ácido para um Erlenmeyer.

As aparas foram adicionadas à solução, resultando na liberação de H_2 , que foi coletado em um balão na cor preta preso ao gargalo do Erlenmeyer com uma liga elástica. Além disso, em um segundo momento, foram utilizadas bolinhas de papel alumínio, pesadas previamente (cerca de 1,5 gramas) e, por meio de uma pipeta foi aferido uma alíquota, da solução previamente preparada, contendo 25 ml de NaOH à 5M também transferida para um Erlenmeyer. Ao colocarem as bolinhas e fixarem o balão na cor amarela no gargalo, os alunos observaram a produção de hidrogênio, conforme as Equações 14 e 15, a seguir.



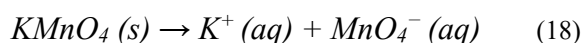
Após o experimento com a reatividade dos metais em meio ácido e alcalino, os licenciandos realizaram um novo experimento adaptado de Santiago (2018, p.88-93). Inicialmente, foram medidos 50 ml de água destilada, cuidadosamente aferidos em uma proveta

graduada e transferidos para um béquer de 100 mL. Em seguida, adicionaram-se cerca de 5 gramas de cloreto de sódio, dissolvidos na água com auxílio de um bastão de vidro, formando uma solução eletrolítica. Com essa solução preparada, montou-se um circuito com fios, vermelho e preto, conectados a uma bateria de 9 volts. Cada polo da bateria foi ligado a um grafite (como um lápis ou um grafite com diâmetro entre 2,0 e 5,0 mm), que foi então imerso na solução. Ao aplicar a corrente, observaram-se bolhas de gás formadas em ambos os eletrodos. Posteriormente, foram adicionadas de 3 a 5 gotas de fenolftaleína (1% v/v), o que provocou uma coloração violeta, especialmente nas proximidades do cátodo, indicando a liberação de íons hidroxila (OH^-). Este processo está exposto nas Equações 16 e 17, abaixo.

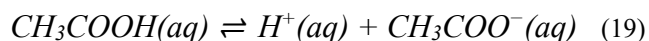


Os licenciandos puderam observar o desprendimento, em maior proporção, de bolhas do gás hidrogênio (H_2), proveniente da redução das moléculas de água (H_2O). E, em menor proporção, as bolhas do gás cloro (Cl_2), oriundo da oxidação dos íons cloreto presentes na solução (Cl^-).

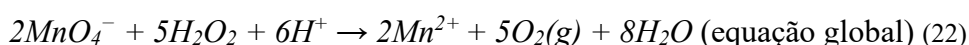
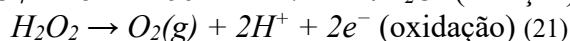
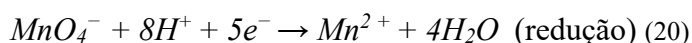
No último experimento da pesquisa, adaptado de Resende (2016, p. 127) foi preparada uma solução de permanganato de potássio, pesando-se aproximadamente 0,10 g do composto com auxílio de uma balança de precisão e um vidro de relógio. Essa quantidade foi dissolvida em 50 mL de água destilada, conforme a dissociação:



Formou-se uma solução homogênea de coloração violeta intensa, característica do íon permanganato (MnO_4^-), no qual o manganês apresenta estado de oxidação +7. Em seguida, foram adicionados 10 mL de ácido acético (vinagre comercial), promovendo a acidificação do meio e o fornecimento de íons hidrogênio:

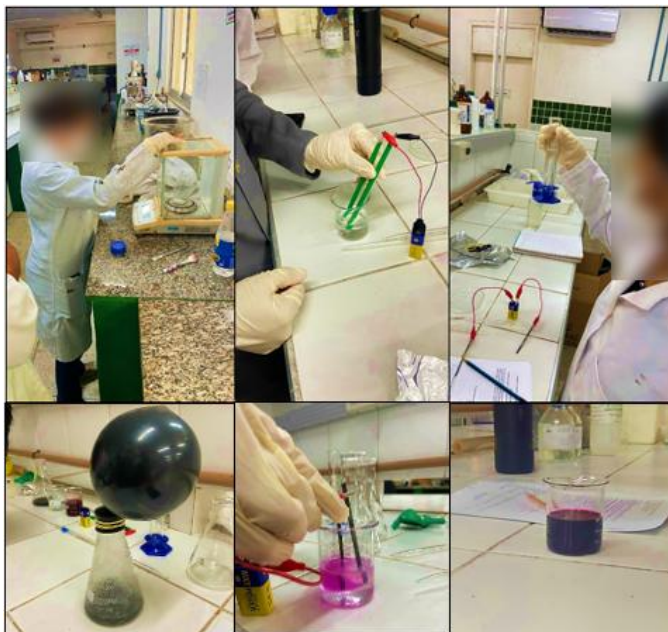


Condição essa necessária para favorecer a ocorrência da reação de oxirredução. Posteriormente, foram adicionados 5 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), desencadeando uma reação imediata com efervescência vigorosa e liberação de oxigênio gasoso. O processo pode ser descrito pelas seguintes semirreações:



Ao longo da reação, observou-se a mudança de coloração da solução, passando do violeta para o incolor e, posteriormente, para um tom levemente rosado, evidenciando a redução do íon permanganato a Mn^{2+} . Dessa forma, o experimento ilustra a elevada capacidade oxidante do permanganato e a dinâmica das reações de oxirredução em meio ácido. A Figura 25 apresenta o registro da execução dos experimentos pelos licenciandos ao longo da atividade proposta.

Figura 25: Registro das atividades experimentais realizadas



Legenda: foto retirada no IFCE-Campus Maracanaú.
Fonte: arquivo pessoal do pesquisador, 2026.

No relatório da equipe 1, observou-se um trabalho bastante completo, que incluiu todas as características necessárias na discussão dos resultados. Eles demonstraram uma boa compreensão das reações químicas propostas, apresentando corretamente as equações da eletrólise da água, além de realizarem o cálculo do número de mols e da quantidade em massa do H_2 produzido. Da mesma forma, quantificaram o oxigênio produzido na outra prática, demonstrando domínio dos cálculos e do balanceamento das equações.

A equipe 2 também cumpriu adequadamente com os requisitos, realizando os cálculos da quantidade de hidrogênio e oxigênio em litros, e apresentando corretamente a massa molar, o número de mols e o balanceamento das equações. Dessa forma, o relatório refletiu um bom entendimento por parte da equipe. Já o relatório da equipe 3, por outro lado, foi mais sucinto e não apresentou os cálculos detalhados, o que indicou uma possível deficiência no entendimento dos conceitos e no cumprimento dos requisitos esperados.

A realização das três práticas experimentais foi essencial para a formação dos licenciandos, pois permitiu que eles explorassem diferentes métodos de produção do gás

hidrogênio. Esses experimentos não apenas ampliaram o repertório prático deles, mas também os prepararam para, futuramente, aplicarem esses conhecimentos na Educação Básica, em sala de aula, identificando diferentes formas de produção de hidrogênio por meio de reações.

3.6 Revisão dos planos de aula e respectivas apresentações

Os temas foram distribuídos entre os estudantes por meio de um sorteio. A equipe 1, composta pelos alunos 5, 6, 10 e 11, a equipe 2, pelos alunos 2, 8 e 9, e a equipe 3, pelos alunos 1, 3, 4 e 7, receberam os tópicos definidos no sorteio. Cabe frisar que a seleção ocorreu uma semana antes, permitindo que os discentes, na semana seguinte, apresentassem os planos de aula em formato de slides.

Cada equipe ficou responsável por um tema específico, a equipe 1 com “*Eletrolisadores de H_2V e energias renováveis no Ensino de Química*”, a equipe 2, “*Eletroquímica do hidrogênio verde e eletrólise da água*” e a equipe 3, com “*Química Ambiental e atmosférica*”. Foi recomendado que cada um desses temas fosse problematizado, não apenas discutido, dentro de um contexto tradicional de aula, em consonância com a perspectiva da Educação CTSA, que pressupõem a articulação entre conceitos científicos e problemáticas sociais. Ou seja, o tema deveria ser colocado como uma situação-problema, instigando os licenciandos a investigarem causas, relações e possíveis soluções no âmbito social. Pois, conforme Libâneo (1994, p. 222), “o planejamento é um processo de racionalização, organização e coordenação da ação docente, articulando a atividades escolar com a problemática do contexto social”.

A equipe 1 apresentou uma proposta de plano de aula voltada para o 2º ano do Ensino Médio, na disciplina de Química, com uma carga horária de 1h/a, a ser aplicada no segundo semestre do ano letivo. O objetivo central da aula é que os alunos compreendessem de forma crítica e contextualizada o funcionamento de eletrólise para a produção de H_2V , reconhecendo os princípios da eletrólise como um processo de transformação da energia elétrica, oriunda de fontes renováveis, como solar e eólica, em energia química armazenada.

Para tanto, os alunos deveriam ter como conhecimentos prévios os conceitos de reações de oxirredução, a dissociação da água, os tipos de fontes de energia (renováveis e não renováveis) e o princípio da eletrólise. Entre os objetivos específicos, a equipe destacou o conhecimento das reações de oxirredução, a compreensão de como se dá a conversão de energia elétrica em energia química, o entendimento das fontes limpas e seus impactos ambientais e, por fim, a problematização seria realizada por meio de um simulador de eletrólise, com uma solução acidulada com H_2SO_4 . Como avaliação, seriam efetuados registros no final da aula.

Contudo, é importante ressaltar que a equipe 1 não apresentou os tipos de eletrolisadores a serem trabalhados, ou se haveria apenas um tipo específico a ser explorado. Ademais, os objetivos da aula não foram apresentados com verbos no infinitivo, o que compromete a clareza na formulação das ações que se espera dos alunos. Por fim, a abordagem da atividade simulada, também não ficou suficientemente clara, não detalhando como essa simulação seria conduzida na prática, o que dificultou a compreensão da dinâmica da aula e demonstrou fragilidades na transposição didática do conteúdo, especialmente no que se refere à operacionalização da problematização proposta.

A equipe 2 elaborou um plano de uma aula de 50 minutos para o Ensino Médio, embora não tenha especificado qual turma seria trabalhada. O objetivo geral foi que os alunos compreendessem os fundamentos eletroquímicos da eletrólise da água na produção de H_2 e O_2 . Entre os objetivos específicos, destacaram-se a análise crítica da sustentabilidade energética atual, os desafios e inovações tecnológicas na produção de hidrogênio, e a conexão do tema com aplicações práticas do cotidiano. Os conhecimentos prévios exigidos incluíram a estrutura da água, as ligações covalentes, reações de oxirredução, definição de perda e ganho de elétrons, pilhas, eletrólise, lei de Faraday, condutividade elétrica e o uso de fontes limpas de energia.

Um ponto de destaque do plano foi a inserção das competências e habilidades da BNCC, que seriam trabalhadas de forma bem articulada, o que indica uma maior aproximação com as orientações curriculares vigentes e com uma perspectiva mais estruturada de planejamento docente. A metodologia foi detalhada, explicando passo a passo como a aula se desenvolveria, incluindo o uso do quadro branco, pincel e equipamentos de multimídia. Na problematização proposta tinha-se o uso de um experimento químico de eletrólise, permitindo que os alunos compreendessem na prática como se processaria essa reação. A avaliação seria realizada por meio de exercícios tradicionais no caderno, permitindo a verificação do domínio dos conteúdos.

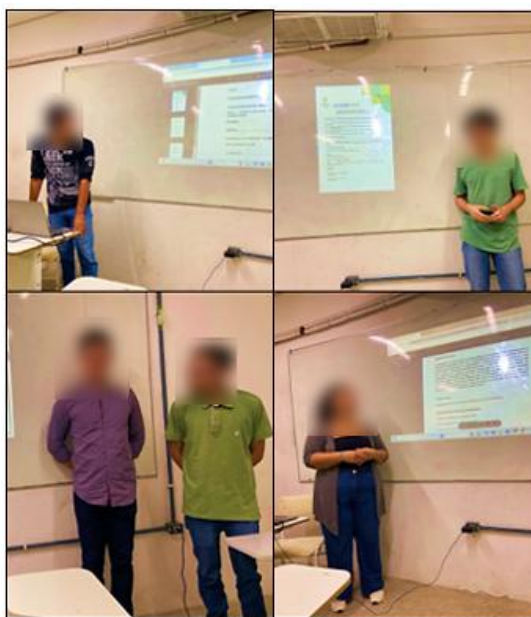
Finalmente, a equipe 3 apresentou um plano de aula para o terceiro ano do Ensino Médio, utilizando como conhecimentos prévios os conceitos de reações químicas e a estrutura da atmosfera terrestre. Os objetos de conhecimento abordados foram as reações químicas envolvidas na poluição atmosférica, como na chuva ácida, no efeito estufa e no aquecimento global, além da identificação dos principais poluentes atmosféricos e da relação entre a atividade humana e as mudanças ambientais.

No entanto, a equipe elencou algumas competências e habilidades que julgou ser importantes, tais como a capacidade de analisar processos de transformação química em contextos ambientais, avaliar ações humanas que degradam a qualidade do ar e propor

alternativas sustentáveis, mas diferentemente da equipe 2 não relacionou com orientações curriculares, como competências e habilidades da BNCC.

A metodologia foi planejada para o Ensino Médio, mas sem detalhamentos, limitando-se a uma exposição teórica dos princípios dos poluentes atmosféricos e suas reações químicas, o que pôde indicar uma abordagem ainda centrada na transmissão de conteúdos, em detrimento de uma problematização mais efetiva. Em seguida, a equipe propôs uma atividade prática na qual os alunos elaborariam uma síntese esquemática, através de um mapa mental, ou conceitual. A avaliação foi proposta por meio de um *Quis*, com um questionário reflexivo, embora não tenha sido especificado como seriam elaboradas essas questões, e seria solicitado aos alunos que fizessem uma síntese escrita sobre os fenômenos ambientais descritos. Na sequência, Figura 26 encontra-se um compilado das fotografias deste encontro.

Figura 26: Registro das apresentações dos planos de aula pelos licenciandos



Legenda: foto retirada no IFCE-Campus Maracanaú.
Fonte: arquivo pessoal do pesquisador, 2026

De modo geral, a análise dos planos de aula sinaliza que, embora os licenciandos demonstrem domínio conceitual dos temas abordados, ainda apresentam dificuldades na articulação entre problematização, metodologia e avaliação, aspectos centrais para se trabalhar dentro de uma abordagem alinhada à perspectiva CTSA. Notou-se que as práticas ainda estão muito arraigadas no tradicionalismo e em métodos disciplinares, com pouca, ou nenhuma, ênfase em atividades investigativas, dialógicas e contextualizadas, que favoreçam a participação ativa dos estudantes e a problematização de questões sociocientíficas.

3.7 Parâmetros de aprendizagem

Os resultados apresentados a seguir decorrem da aplicação do Questionário V, realizado após o terceiro momento pedagógico, junto aos licenciandos de Química. O questionário teve o propósito de mensurar a aprendizagem desenvolvida a partir do estudo de caso e contou com quatro questões: a primeira abordou eletroquímica, com foco em pilhas e eletrólise da água; a segunda, a competência ambiental e as aplicações químicas do H_2V ; a terceira, a energia livre de Gibbs e a variação de entalpia e entropia; e a quarta, por sua vez, a relação entre a Química atmosférica e o H_2V .

Os resultados, detalhados no Quadro 15, mostram que os alunos obtiveram maior número de acertos nas questões dissertativas abertas. Três alunos acertaram todas as questões dessa natureza, enquanto os demais responderam de forma incompleta. Por fim, dois alunos não obtiveram êxito em nenhuma das questões.

Quadro 15: Matriz de desempenho dos alunos por questão

Aluno(a)	Questão 1		Questão 2	Questão 3		Questão 4
	(A)	(B)		(A)	(B)	
1	Incorreta	Incorreta	Incompleta	Incorreta	Incompleta	Incompleta
2	Incorreta	Incorreta	Incompleta	Incorreta	Incompleta	Incorreta
3	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incorreta
4	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incorreta
5	Incompleta	Incompleta	Correta	Incorreta	Correta	Correta
6	Incorreta	Incorreta	Correta	Incorreta	Correta	Correta
7	Incompleta	Incompleta	Correta	Incorreta	Incorreta	Correta
8	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Incompleta	Incorreta
9	Correta	Correta	Correta	Incorreta	Correta	Correta
10	Incorreta	Incorreta	Incompleta	Incorreta	Incompleta	Incompleta
11	Incorreta	Incorreta	Correta	Incorreta	Incorreta	Correta

Legenda: Categorias de análise (Correta, Incorreta e Incompleta).

Fonte: o autor, 2026.

Dentre as questões abertas de cálculo, observou-se uma diferença significativa nos acertos. O item “a” da Questão 3, que exigia o cálculo da energia livre de Gibbs e classificar segundo a espontaneidade da reação, não foi acertada por nenhum aluno. Já o item “a” e “b” da Questão 1, que envolvia o cálculo do número de mols e o volume de H_2 produzido, na situação-problema, apresentou um desempenho mais variado: 2 alunos resolveram metade do cálculo, tornando o item incompleto, mas apenas um aluno conseguiu completá-la integralmente. Assim, o item “a” da Questão 3 permaneceu sem acertos, com tentativas que não lograram êxito, enquanto o item “a” e “b” da Questão 1 teve uma única resposta completa. A seguir, estão alguns exemplos, tanto a Questão 1 (com o cálculo efetuado), quanto as questões discursivas que os alunos responderam corretamente (Figura 27).

Figura 27: Respostas corretas do Questionário V

Questão 1 (itens “a” e “b”) - Resposta do Aluno 9

$$\begin{aligned}
 a) Q &= i \cdot t & Q &= 10 \cdot (5 \cdot 3600) = 180000 \\
 n_e &= \frac{Q}{F} & n_e &= \frac{180000}{96485} = 1,8656 \text{ mol de } e^- \\
 2H^+ + 2e^- &\rightarrow H_2 & X &= \frac{1,8656}{2} \approx 0,933 \text{ mol de } H_2 \\
 2 \text{ mol} &\times & 1 \text{ mol} & \\
 1,8656 \text{ mol} &\times & X & \\
 V_{H_2} &= n_{H_2} \cdot 22,4 \text{ L/mol} = 0,933 \text{ mol} \cdot 22,4 = & & \approx 20,9 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Questão 2 - Resposta da Aluna 11

O hidrogênio verde é sustentável para o meio ambiente, porque usa energia elétrica e solar que não emitem CO_2 para a atmosfera, o que pode descarbonizar a economia global. Como principais aplicações, temos: combustível, na indústria de cimento, aço, amônia verde e metanol.

Questão 3 (item “b”) - Resposta da Aluna 6

O H_2 é produzido em maior quantidade pois, segundo a reação: $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$, o H_2 é o que está em maior quantidade. Logo, o único elemento que mais libera é o H_2 , produzindo assim que o H_2 é uma ótima escolha para o meio ambiente e a sociedade.

Questão 4 - Resposta do Aluno 9

Tendo em vista que na combustão do H_2 apenas água é formada como produto a queima desse gás não contribui para o aquecimento global diferente dos hidrocarbonetos como o metano (CH_4) que produz CO_2 . $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Fonte: o autor, 2026.

Consoante a Figura 27, essas respostas estão mais próximas das expectativas pensadas antes da aplicação do projeto de pesquisa que estão presentes no Apêndice V, dessa dissertação.

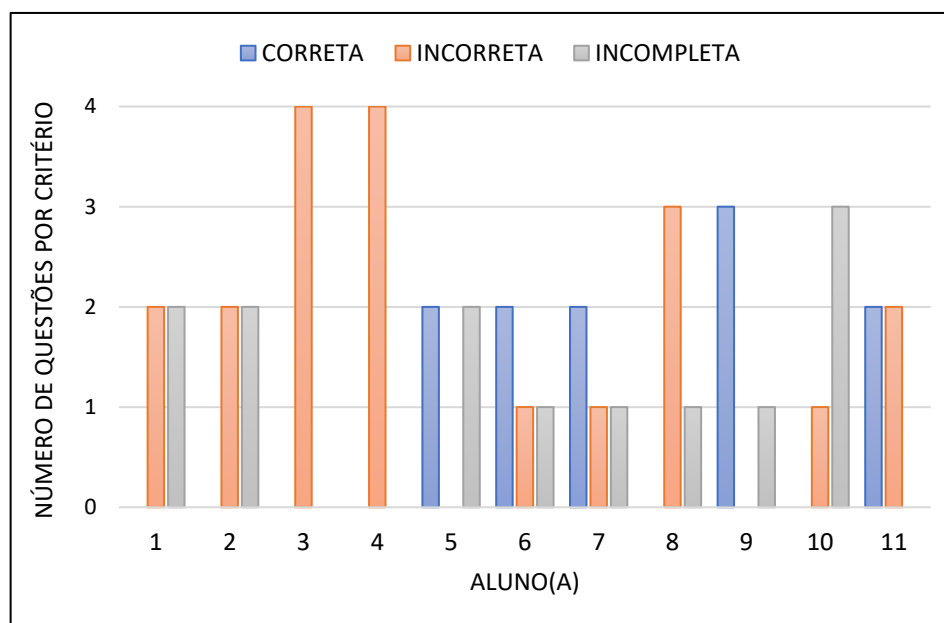
Depois das respostas listadas acima, a seguir são analisados os quantitativos de desempenho dos licenciandos. A Tabela 10 apresenta o número de questões corretas, incorretas, e incompletas, seguindo o critério adotado: caso o aluno erre, deixe incompleto ou apresente uma resposta divergente em qualquer item das questões 1 ou 3, essa questão será classificada como incompleta. Assim, a Tabela 10 permite uma visão geral do desempenho, destacando a quantidade de acertos, erros e tentativas incompletas, de acordo com esse critério.

Tabela 10: Distribuição de acertos, erros e incompletudes por aluno

Aluno(a)	Correta	Incorreta	Incompleta
1	0	2	2
2	0	2	2
3	0	4	0
4	0	4	0
5	2	0	2
6	2	1	1
7	2	1	1
8	0	3	1
9	3	0	1
10	0	1	3
11	2	2	0

Fonte: o autor, 2026.

A partir dos dados apresentados na Tabela 10, é possível observar que a maior incidência de respostas corretas, foi do Aluno 9, incorretas foi dos Alunos 3 e 4 e incompletas do Aluno 10. Para complementar essa análise, o Gráfico 8 ilustra a distribuição de respostas corretas, incorretas e incompletas, permitindo uma visualização mais clara das variações no desempenho.

Gráfico 8: Número de acertos, erros e incompletudes de questões por aluno

Fonte: o autor, 2026.

Em suma, pelo Questionário V, verifica-se que cinco alunos alcançaram um desempenho bom e satisfatório. Entretanto, muitos apresentaram um elevado número de questões incompletas, e três em especial (os alunos 3, 4 e 8) se destacaram pelo alto índice de questões incorretas. Ainda assim, percebeu-se um avanço na aprendizagem, embora de forma não tão expressiva.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do desafio que representa a implementação do hidrogênio verde (H_2V) como recurso didático, por ser uma tecnologia emergente, de estudos recentes e predominantemente discutida em línguas estrangeiras, esta pesquisa também reconhece as barreiras impostas pelos elevados custos e pela limitada disponibilidade de aparatos tecnológicos no contexto nacional. Ao promover a democratização, disseminação e a equidade no acesso ao conhecimento, esta investigação aponta possibilidades concretas de inserção do H_2V na formação inicial de professores de Química, na medida em que enriquece o repertório conceitual dos licenciandos e os mobiliza a refletir sobre estratégias para a superação desses obstáculos.

A ênfase na eletólise alcalina da água, por meio de um protótipo de baixa fidedignidade, reforça a importância de uma formação que articule conhecimentos científicos e tecnológicos a contextos educacionais concretos, favorecendo o desenvolvimento de uma prática pedagógica mais crítica e contextualizada, com vistas à atuação futura, tanto na Educação Básica quanto no nível superior.

No primeiro momento pedagógico, foram oferecidos subsídios que permitiram aos licenciandos problematizar seus conhecimentos prévios e refletir sobre as implicações das mudanças climáticas e o papel do H_2V na descarbonização da economia local, nacional e global. Em contrapartida, também foram levantadas tensões e entraves no que diz respeito aos aspectos que perpassam toda a cadeia de valor do H_2V (produção, armazenamento, transporte, distribuição e aplicação).

Destacou-se a importância do desenvolvimento do pensamento crítico e da argumentação, à medida em que os licenciandos interligavam suas ideias com as questões sociocientíficas dos textos discutidos. Essa dinâmica contribuiu para ampliar e complexificar a compreensão sobre o H_2V , explorando suas controvérsias, pontos e contrapontos, permeados pela Educação CTSA.

Outrossim, os discentes relataram a importância de se vivenciar cursos e capacitações como essa, destacando o potencial da proposta para fomentar o engajamento político e educacional, bem como a tomada de decisões mais informadas e conscientes para uma cidadania mais engajada. Contudo, percebeu-se, a partir da análise do *Ranking* Médio, certa deficiência na inserção da abordagem CTSA no currículo e das energias renováveis, especialmente o H_2V , nas práticas pedagógicas. Retomando a pergunta norteadora, de como a abordagem CTSA, mediada por uma sequência didática dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) sobre o hidrogênio verde, corrobora para a formação inicial docente em Química?

Contrasta-se que, para além das nuances evocadas, houve um avanço profícuo na alfabetização científica e tecnológica, especialmente no eixo 4, com um índice de proficiência igual ou superior a 60% no TACB-A. Percebeu-se também que os licenciandos desenvolveram uma visão mais detida de que a Ciência e a Tecnologia muitas vezes estão a serviço de interesses econômicos, e que o H₂V, por exemplo, não ficaria distante dessa realidade. Esses pontos foram trabalhados nas práticas formativas, mostrando que ter essa visão da totalidade, está intimamente ligada à capacidade do indivíduo de ser alfabetizado científica e tecnologicamente.

Além disso, o protótipo de eletrólise alcalina, construído para a produção de H₂V, apresentou resultados promissores, mas também revelou limitações importantes, especialmente na vedação das tampas, o que pode ser observado em pesquisas futuras para evitar perdas de gás e o comprometimento da eficiência no sistema em um período maior de uso.

A inclusão de mecanismos de travamento se mostra essencial para mitigar essa questão, assim como a inserção de diafragmas, possibilitando a testagem de outras concentrações do eletrólito, a otimização do espaçamento entre eletrodos, a exploração de outras fontes renováveis, materiais alternativos e técnicas que reduzam o consumo energético.

Tais aprimoramentos são fundamentais para que o protótipo possa ser utilizado de forma mais eficaz como recurso didático, pedagógico e sustentável. Nesse sentido, o protótipo se revela um potente agente de formação de professores, abrindo discussões cruciais no âmbito CTSA, promovendo habilidades e competências previstas na BNCC e na BNC-Formação, rompendo com práticas enraizadas no tradicionalismo e voltando-se para um viés mais social e ambiental.

No tocante à formação dos licenciandos, percebeu-se, durante a apresentação dos planos de aula, uma crescente preocupação em trazer aspectos do movimento CTSA. Os licenciandos, ao elaborarem suas aulas, buscaram inserir discussões sobre as inter-relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, demonstrando um esforço em ampliar o olhar para além do conteúdo disciplinar, embora ainda de forma inicial.

Destarte a essas discussões, conclui-se que o objetivo geral desta pesquisa foi atingido, ao analisar uma estratégia de ensino para a formação inicial de professores do curso de licenciatura em Química, utilizando o hidrogênio verde como recurso didático, e incorporando aspectos científicos, sociais, tecnológicos e ambientais ligados a essa fonte de energia renovável. Espera-se que esta pesquisa corrobore para que mais discussões de cunho CTSA sejam travadas, tanto dentro, quanto fora do ambiente acadêmico universitário, ampliando a formação crítica e contextualizada dos futuros docentes e contribuindo para uma educação alinhada com os desafios contemporâneos.

REFERÊNCIAS

- AAAS, American Association for the Advancement of Science. **Science for all Americans: A project 2061 report on literacy goals in science, mathematics and technology.** Washington, AAAS, 1989, v 1, p. 256.
- ABE, I. **Physical and Chemical Properties of Hydrogen.** Energy Carriers and Conversion Systems, v.1, 2007.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14725: Segurança de Produtos Químicos.** Rio de Janeiro: 2014.
- ADAMS, F. W.; SIQUEIRA, R. M.; MORADILLO, E. F. Base Nacional Comum Curricular na Formação Inicial de Professores de Química: o que pensam os licenciandos. **Olhar de Professor**, [S. l.], v. 25, p. 1–26, 2022. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/olhardeprofessor/article/view/20410>>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- AEDO, M. P. De la transición corporativa a las transiciones justas: alternativas y resistencias territoriales. **Ecología política**, n. 65, p. 39–47, 2023. Disponível em: <https://www.ecologiapolitica.info/wp-content/uploads/2023/07/065_2023_Aedo_39-47_fvgb.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Relatório de implementação do marco regulatório de hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil.** Rio de Janeiro: ANP, 05 set. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes/relatorios/relatorio-de-implementacao-do-marco-regulatorio-do-hidrogenio-de-baixa-emissao-de-carbono-no-brasil>>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- AIKENHEAD, Glen. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. **STS education: international perspectives on reform.** New York: Teachers College Press, 1994, p. 47-59.
- ALBUQUERQUE, A.; QUINAN, R. Crise epistemológica e teorias da conspiração: o discurso anti-ciência do canal “Professor Terra Plana”. **Revista Mídia e Cotidiano**, v. 13, n. 3, p. 83–104, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.uff.br/midiaecotidiano/article/view/38088>>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- ALPTEKIN, F. M.; CELIKTAS, M. S. Review on catalytic biomass gasification for hydrogen production as a sustainable energy form and social, technological, economic, environmental, and political analysis of catalysts. **ACS Omega**, v. 7, n. 29, p. 24918-24941, 12 jul. 2022. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c01538>>. Acesso em: 05 jun. 2025.
- ALVARENGA, P. **Hidrogênio verde e a transição para uma economia de baixo carbono.** Revista BrasilAlemanha, São Paulo, ano 29, n. 01, p. 42-44, out. 2021. Disponível em: <https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/56_Alvorenga_31_05_2021.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2026.

ÁLVAREZ, F. M. **Hacia una visión social integral de la Ciencia y la Tecnología**. Cuba: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Universidad de Barcelona. Prometheus 21. Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación. 2001. Disponível em: <<https://www.ub.edu/prometheus21/articulos/hacia.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2025.

ALVES, L. A.; NETO, A. C. A formação inicial de professores de Química na educação CTS: um estado do conhecimento. **Revista Contexto & Educação**, [s.l.], v. 17, n. 1, 2025. Disponível em: <<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/16075>>. Acesso em: 12 out. 2025.

AMINAH, N. S.; AMINAH, E. N.; AMINAH, F. Review of machine learning application in porous transport layers for the design of fuel cells and electrolyzers. **Next Research**, v. 2, n. 4, p. 100825, 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S305047592500692X>>. Acesso em: 30 set. 2025.

AMUCHASTEGUI, M.; BIRCH, K.; KALTENBRUNNER, W. As interseções entre Sociologia e CTS: uma abordagem de Big Data. **Sociological Perspectives**, v. 66, n. 5, p. 868–887, 2023. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/07311214231167170>>. Acesso em: 05 out. 2025.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Implementação do marco regulatório de hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil**. Brasília, DF: ANP, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2025.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 2, p. 122-134, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epcc/a/XvnmrWLg4qqN9SzHjNq7Db/?format=html&lang=pt>>. Acesso em: 18 out. 2025.

AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica: um novo “paradigma”? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 5, n. 1, p. 68-83, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epcc/a/jp44NGpsBjLPrhgMz6PtHq/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 15 out. 2025.

AULER, D. **Interações entre ciência-tecnologia-sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82610>>. Acesso em: 15 out. 2025.

AULER, D. Novos caminhos para a educação CTS: ampliando a participação. In: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. (Orgs.). **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.

AULER, D. **Cuidado! Um cavalo viciado tende a voltar para o mesmo lugar**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2018.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, Bauru - SP, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/wJMcpHfLgzh53wZrByRpmkd>>. Acesso em: 03 mai. 2025.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Investigação de temas CTS no contexto do pensamento latino-americano. **Linhas Críticas**, [S. l.], v. 21, n. 45, p. 275–296, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/linhascriticas/article/view/4525>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

AULER, D. Freire, Fermento Entre os Oprimidos: Continua Sendo? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. e33706, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/33706>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

AUSUBEL, D.P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes. 1982

ATAL, F.; AKVAN, M.; AFRA, M. N. **Examining the Core Elements of Popper's Falsifiability Perspective and Their Compatibility**. *Interdisciplinary Studies in Society, Law, and Politics*, v. 4, n. 1, p. 112–127, mar. 2025. Disponível em: <<https://journalisslp.com/index.php/isslp/article/view/132>>. Acesso em: 18 out. 2025.

AXT, M.; BALDASSARRE, B.; KIRCHHERR, J. Towards greater circularity in the hydrogen technology value chain. **Ecological Economics**, v. 236, p. 108679, out. 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800925001624>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

AZIZ, Muhammad. Liquid Hydrogen: A Review on Liquefaction, Storage, Transportation, and Safety. **Energies**, v. 14, n. 18, p. 5917, 17 set. 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/14/18/5917>>. Acesso em: 17 mai. 2025.

BAILÓN, R.; RODRÍGUEZ, J.; WOOCAY, A. Energy Efficiency Analysis of a PEM Electrolyzer and a PEM Hydrogen Fuel Cell. In: **Memorias del XXVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM**, Pachuca, 22-24 set. 2021. 10 p. Disponível em: <https://somim.org.mx/memorias/memorias2021/articulos/A4_114.pdf>. Acesso em: 27 set. 2025.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2016. 288 p.

BATAGLIOTTI, J. **ABC do Hidrogênio Verde**. *Revista BrasilAlemanha*, São Paulo, ano 29, n. 01, p. 18-22, out. 2021. Disponível em: <<https://www.ahkbrasilien.com.br/br/publicacoes/revista-brasilalemanha/download-revista-brasilalemanha-2021>>. Acesso em 15 jan. 2025.

BAZZO, W. A. **Ciência, tecnologia e sociedade e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998. 324 p.

BAZZO, W. A.; VON-LINSINGEN, I.; PEREIRA, L.T. V. (Eds.) **Introdução aos estudos CTS: Ciência, Tecnologia e Sociedade**. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), Cadernos de Ibero-América, 2003. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/walter/files/2023/06/1__Introduo_aos_estudos_CTS_Bazzo_et_al.pdf>. Acesso em: 25 out. 2025.

BENTO, C.; LOPES, T. F.; RODRIGUES, P.; GÍRIO, F.; SILVA, C. Biogas reforming as a sustainable solution for hydrogen production: Comparative environmental metrics with steam-methane reforming and water electrolysis in the Portuguese context. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 66, p. 661-675, maio 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319924013740>>. Acesso em: 05 jun. 2025.

BEZERRA, F. D. Hidrogênio Verde: Nasce um Gigante no Setor de Energia. **Caderno Setorial ETENE**. Banco do Nordeste, Fortaleza, v. 1, n. 112, 2021. Disponível em: <https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

BEZERRA, F. D. Hidrogênio de baixa emissão de carbono. **Caderno Setorial ETENE**. Banco do Nordeste, Fortaleza, v. 10, n. 381, abr. 2025. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/3183>>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BORBA, J.; RIBEIRO, E.; FUKS, M. Polarization and ideology: exploring the contextual nature of democratic commitment. **Revista de Sociologia e Política**, v. 32, 2024. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rsocp/a/7RbNQ7pFbGzCtc7w8nLNNCc/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

BRANCO, E. P.; BRANCO, A. B. G.; IWASSE, L. F. A.; ZANATTA, S.C. BNCC: a quem interessa o ensino de competências e habilidades? **Debates em Educação**, [S. l.], v. 11, n. 25, p. 155–171, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufal.br/debateseducacao/article/view/7505>>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: educação é a base**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. Lei de Diretrizes e Bases para a Educação Nacional - **Lei nº. 9394/96**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional. Brasília: MEC, 1996. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto-Lei nº 1.190**, de 4 de abril de 1939. Dá organização à Faculdade Nacional de Filosofia. Brasília, 1939. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del1190.htm>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 4.024**, de 20 de dezembro de 1961. Fixa as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Brasília: Senado Federal. 1961. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4024.htm>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 5.540**, de 28 de novembro de 1968. Fixa normas de organização e funcionamento do ensino superior e sua articulação com a escola média, e dá outras providências. Brasília: Senado Federal. 1968. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15540.htm>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 5.692**, de 11 de agosto de 1971. Fixa diretrizes e bases para o ensino do 1º e 2º grau, e dá outras providências. Brasília, 1971. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15692.htm>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Presidência da República. **Lei 12.796**, de 4 de abril de 2013. Altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, para dispor sobre a formação dos profissionais da educação e dar outras providências. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112796.htm>. Acesso em: 20 abr. 2025.

BRASIL. **Resolução nº 30**, de 11 de julho de 1974. Fixa os mínimos de conteúdo e duração a observar na organização do curso de licenciatura em Ciências. In: *Documenta*, Brasília: Conselho Federal de Educação (CFE). v. 164, p. 509-511, jul. 1974.

BRASIL. **Parecer CNE/CES nº 1.303/2001/DF**. Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Química (DCNCQ). Distrito Federal: Ministério da Educação, 06 nov. 2001.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução CNE/CP 1**, de 18 de fevereiro de 2002. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Brasília, 2002a. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=159261-rcp001-02&category_slug=outubro-2020-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução CNE/CP 2**, de 19 de fevereiro de 2002. Institui a duração e a carga horária dos cursos de licenciatura, de graduação plena, de formação de professores para a Educação Básica, em nível superior. Brasília, 2002b. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=159251-rcp002-02&category_slug=outubro-2020-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução Nº 2**, de 1º de julho de 2015. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação inicial em nível superior (cursos de licenciatura, cursos de formação pedagógica para graduados e cursos de segunda licenciatura) e para a formação continuada. Brasília, 2015. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=17719-res-cne-cp-002-03072015&category_slug=julho-2015-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução CNE/CP Nº 2**, de 20 de dezembro de 2019. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para Educação Básica e institui a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação). Brasília: MEC, 2019. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=135951-rcp002-19&category_slug=dezembro-2019-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental (DCNEA)**. Parecer CNE/CP nº 14/2012, de 11 de abril de 2012. Brasília: MEC, 2012. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rcp002_12.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior de Profissionais do Magistério da Educação Escolar Básica**. Resolução CNE/CP nº 4, de 29 de maio de 2024. Brasília: MEC, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/pdf/resolucoes-do-cne/cp/2024/rcp004_24.pdf>. Acesso em: 13 set. 2025.

BRASIL. **Norma Regulamentadora 32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde (NR-32)**. Portaria MTE nº 485, de 11 de novembro de 2005. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2005. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-32-atualizada-2022-2.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2025.

BRASIL. **Relatório Final do Plano Nacional de Energia 2050 – PNE 2050**. Empresa de Pesquisa Energética, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-energia/plano-nacional-de-energia-2050>>. Acesso em: 15 out. 2024.

BROWN; LEMAY; BURSTEN. **Química a ciência central**. 9 ed. Pearson, 2005

BYBEE, R. Achieving scientific literacy. **The science teacher**, v. 62, n. 7, p. 28, 1995.

CARDOSO, A. P. S.; CALUZI, J. J.; SANTOS, R. A. Aproximação entre a filosofia de Hugh Lacey e o campo educacional em Ciência, Tecnologia e Sociedade. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte, v. 22, p. 1-26, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epec/a/kKfH6xQwk7QvbJNNDmCxr5c/?format=html&lang=pt>>. Acesso 10 jun. 2025.

CARVALHO, F. L. **Biocombustíveis além da Química: formação de professores no ensino de ciências dentro da perspectiva CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus Vila Velha*, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ifes.edu.br/items/a4cbb29f-772d-42c0-a4fc-8188989b83c3>>. Acesso em: 28 jun. 2025.

CEARÁ, *et al.* Governo do Estado do Ceará. **Construindo o Hub de Hidrogênio Verde do Ceará: Masterplan Hidrogênio Verde – Relatório Final (Book completo)**. Fortaleza: Observatório de Indústrias do Ceará; FIEC; ADECE; Governo do Estado do Ceará; IXL Center, 2024a. 252 p. Disponível em: <<https://www.observatorio.ind.br/prospectiva-e-cooperacao?conteudo=c4&sub=sc21>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

CEARÁ, *et al.* Governo do Estado do Ceará. **Projeção de impacto econômico do Hub de Hidrogênio Verde no Ceará: Masterplan Hidrogênio Verde – Relatório Final (Book completo)**. Fortaleza: Observatório de Indústrias do Ceará; FIEC; ADECE; Governo do Estado do Ceará; IXL Center, 2024b. Disponível em: <<https://www.observatorio.ind.br/prospectiva-e-cooperacao?conteudo=c4&sub=sc21>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

CEREZO, J. A. L. Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión em Europa y Estados Unidos. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 18, p. 41-68, 1998. Disponível em: <<https://rieoei.org/RIE/article/view/1091>>. Acesso em: 10 mai. 2025.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?** 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ, Erlbaum. 1988.

COP30. 30ª Conferência das Partes sobre Mudanças Climáticas da ONU. **Declaration on Global Green Industrialization**. Belém: COP30 Brasil, 14 nov. 2025. Disponível em: <https://cop30.br/en/news-about-cop30/cop30-documents/cop30_belem-declaration-on-global-green-industrialization_final-4.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2025.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: Uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, v. 1, n. 22, p.89-100, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbedu/a/gZX6NW4YCy6fCWFQdWJ3KJh/?format=html&lang=pt>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

CHASSOT, A. **Ensino de Ciências no começo da segunda metade do século da tecnologia**. In: LOPES, A. C.; MACEDO, E. (Org.) Currículo de Ciências em debate. 1. ed. São Paulo: Papirus, 2004. p. 13-44.

CHATENET, M.; POLLET, B. G.; DEKEL, D. R.; DIONIGI, F.; DESEURE, J.; MILLET, P.; BRAATZ, R. D.; BAZANT, M. Z.; EIKERLING, M.; STAFFELL, I.; BALCOMBE, P.; SHAO-HORN, Y.; SCHÄFER, H. Water electrolysis: from textbook knowledge to the latest scientific strategies and industrial developments. **Chemical Society Reviews**, v. 51, n. 11, p. 4583-4762, 2022. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/cs/d0cs01079k>>. Acesso em: 18 mai. 2025.

CHEN, P. S.L.; FAN, H.; ABDUSSAMIE, N. Evaluation of hydrogen shipping cost for potential trade routes. **WMU Journal of Maritime Affairs**, v. 24, n. 2, p. 315–338, 2025. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13437-025-00365-w>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

CHRISPINO, A.; LIMA, L. S.; ALBUQUERQUE, M. B; FREITAS, A. C. C.; SILVA, M. A. F. B. A área CTS no Brasil vista como rede social: onde aprendemos? **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 19, n. 2, p. 455–479, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/S5xmFrNPVDp8JmytwccCKcC/?format=html&lang=pt>>. Acesso em: 10 mai. 2025.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Hidrogênio sustentável: perspectivas e potencial para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2024. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/34/fc/34fc90b4-7c9d-4b5e-9769-1ac63ba9d891/id_247627_estudo_hidrogenio_sustentavel_interativo.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2025.

CONRADO, D. M.; NUNES-NETO, N. (Orgs.). **Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas**. [S.l.]: EDUFBA, 2018. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/n7g56>>. Acesso em: 13 out. 2025.

COSTA, J. P. O campo ciência, tecnologia e sociedade e novos paradigmas de política de ciência, tecnologia e inovação no Brasil: em direção ao seu reconhecimento no financiamento à pesquisa. **Revista Brasileira de Estudos CTS**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 47–68, 2025. Disponível em: <<https://revistabrasileiradeestudoscts.com/revista/article/view/11>>. Acesso em: 15 out. 2025.

CRUZ, S. M. S. C. S. **Aprendizagem centrada em eventos: uma experiência com o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade no ensino fundamental**. 2001. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81926>>. Acesso em: 25 out. 2025.

CRUZ, J. F. F. B. S. **Do conhecimento à ação docente: o tema da energia em contexto CTS**. Tese (Doutorado) – Universidade de Huelva, Huelva, 2016. Disponível em: <<https://ariasmontano.uhu.es/entities/publication/576a24e8-5ef6-4f79-98c4-267d2517fc49>>. Acesso em: 28 jun. 2025.

CRUZ, A.; MOURA, A.; BARBOSA, J. BNC-Formação e BNCC: como os documentos normativos influenciam na formação inicial do professor? **Revista e-Curriculum**, [S. l.], v. 22, p. 1-23, 2024. DOI: 10.23925/1809-3876.2024v22e65586. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/65586>. Acesso em: 17 abr. 2025.

DAGNINO, R.; DAVIT, A.; THOMAS, H. El Pensamiento en Ciencia, Tecnología y Sociedad en Latinoamérica: una interpretación política de su trayectoria. **Redes**, v. 7 n. 6, p. 1351, 1996. Disponível em: <<https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/504/03R1996v3n7.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 07 fev. 2025.

DAGNINO, R. P. As trajetórias dos estudos sobre ciência, tecnologia e sociedade e da política científica e tecnológica na Ibero-América. **Alexandria: revista de educação em ciência e tecnologia**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 3-36, 2008. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6170807.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

DEBOER, G. Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 37, n. 6, p. 582-601, 2000. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1098-2736%28200008%2937%3A6%3C582%3A%3AAID-TEA5%3E3.0.CO%3B2-L>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 5ªed. São Paulo: Cortez, 2018. 285 p., v. 1.

DEMO, Pedro. **Educação e alfabetização científica**. São Paulo: Papirus, 2010.

DOMICIANO, T. D.; LORENZETTI, L. A Educação Ciência, Tecnologia e Sociedade no curso de Licenciatura em Ciências da UFPR Litoral. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 22, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epec/a/pbX5cLHd9zKBxMLLFJqXrZN/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 mai. 2025.

DU, N.; ROY, C.; PEACH, R.; TURNBULL, M. J. M.; THIELE, S.; BOCK, C. I.; *et al.* Anion-Exchange Membrane Water Electrolyzers. **Chemical Reviews**, v. 122, n. 13, p. 11830–11895, 2022. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.1c00854>>. Acesso em: 05 jun. 2025.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, pp. 532-550, 1989.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Indicativo de Gasodutos de Transporte – PIG 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-indicativo-de-gasodutos-de-transporte-pig-2022>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Bases para a consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio**: NT – Nota Técnica (Revisão 01). Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-bases-para-a-consolidacao-da-estrategia-brasileira-do-hidrogenio>>. Acesso em: 06 out. 2023.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica**: Roadmap tecnológico de hidrogênio. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roadmap-tecnologico-de-hidrogenio>>. Acesso em: 28 ago. 2025.

FERNANDEZ, Carmen. Formação de professores de Química no Brasil e no mundo. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 205–224, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/8wzGrXHcTNc5WqY9NgTPMjm/?format=html&lang=pt>>. Acesso em: 18 abr. 2025.

FIELD, Andy. **Descobrimdo a estatística usando o SPSS**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.

FISCARELLI, P. E. **Biodiesel na escola: uma ferramenta educacional para o planejamento energético**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2010. Disponível em: <<https://earte.fe.unicamp.br/node/84322>>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Matriz energética, sequestro de carbono, emissões: veja glossário sobre energia limpa**. Folha de São Paulo, São Paulo, 26 maio 2024. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2024/05/matriz-energetica-sequestro-de-carbono-emissoes-veja-glossario-sobre-energia-limpa.shtml>>. Acesso em: 17 set. 2024.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

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

FOX, N. J. Green capitalism, climate change and the technological fix: a more-than-human assessment. **The Sociological Review**, v. 71, n. 5, p. 1115–1134, 2023. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/00380261221121232>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

FREIRE, P. **Educação como prática da liberdade**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 28ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

FREITAS, R. A.; COELHO, G. R. Educação Ambiental na Formação Inicial de Professores de Química: Uma Revisão de Artigos Publicados em Periódicos Científicos Brasileiros. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 9, n. 3, p. 265–279, 2023. Disponível em: <<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/5602>>. Acesso em: 15 dez. 2025.

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Japão, v. 92, n. 5, p. 405-416, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389172301802887>>. Acesso em: 18 out. 2024.

GALHARDI, C. P. *et al.* Fake News and vaccine hesitancy in the COVID-19 pandemic in Brazil. **Ciência & Saúde coletiva**, v. 27, n. 5, p. 1849–1858, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csc/a/PBmHtLCpJ7q9TXPwVZ3kGH/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 17 out. 2025.

GÁMEZ, C. M. **La problemática energética como contexto de enseñanza-aprendizaje en la educación secundaria obligatoria: una experiencia con profesorado de ciencias en formación inicial**. Tese (Doutorado) – Universidade de Málaga, Málaga, 2013. Disponível em: <<https://riuma.uma.es/entities/publication/79152c7b-c502-483a-b2ea-df52f4253fc8>>. Acesso em: 18 jun. 2025.

GARCIA, M. I. G.; CEREZO, J. A. L.; LÓPEZ, J. L. **Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología**. Madrid: Editorial Tecnos, 1996.

GONZÁLEZ, M.; LÓPEZ, J.; LUJÁN, J. **Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología**. Madrid: Tecnos, 1996. 324p.

GONÇALVES, R. R.; PEIXOTO, S. C.; VESTENA, R. F. Ciências da Natureza, BNCC e BNC-Formação: descompassos na formação docente e demandas curriculares em uma instituição de ensino superior do RS. **VIDYA**, Santa Maria (RS, Brasil), v. 43, n. 1, p. 261–279, 2023. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.edu.br/index.php/VIDYA/article/view/4480>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

GHOSH, A.; SHARMA, T.; PANDEY, J. Review on proton conducting membrane for PEM water electrolyser: a sustainable approach for green hydrogen production. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 993, p. 119286, set. 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1572665725003601>>. Acesso em: 15 out. 2025.

HACHA, R.R. Eletroflotação de partículas finas de hematita em célula modificada de Partridge Smith usando Rhodococcus opacus como biorreagente. 2016. 174 f. **Tese de Doutorado** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia Química e de Materiais da PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=29743&idi=1&rc=1>>. Acesso em: 12 mar. 2025.

HAIR J. J.; B.W.; B. B.; A. R.; TATHAM, R. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora 2009.

HE, X.; YIN, H. Mechanical analysis of a multi-layered spherical liquid hydrogen storage tank with perforation. **Journal of Energy Storage**, v. 141, n. 1, p. 119195, 2026. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X25039088>>. Acesso em: 02 fev. 2026.

HOMAIO. **Carbon credit – tradable unit of avoided CO₂**. Disponível em: <<https://www.homaio.com/glossary/carbon-credit>>. Acesso em: 20 nov. 2025.

HURD, P. DeH. **Science literacy**: Its meaning for American Schools. *Educational Leadership*, v. 16, p. 13-16, 1958.

IEA. International Energy Agency. **The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/8ab96d80-f2a5-4714-8eb5-7d3c157599a4/English-Future-Hydrogen-ES.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

IEA. International Energy Agency. **Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/towards-hydrogen-definitions-based-on-their-emissions-intensity>>. Acesso em: 06 jun. 2025.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Outlook 2024**. Paris: IEA, 2024a. 398 p. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2025.

IEA. International Energy Agency. **Global Hydrogen Review 2024**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

IEA. International Energy Agency. **Global Hydrogen Review 2025: Trade and infrastructure**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2025/trade-and-infrastructure>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

IFCE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. **Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Química – Campus Maracanaú**. Maracanaú: IFCE, 2019. Disponível em: <https://portal.ifce.edu.br/documents/8138/ifce_maracanau_ppc-201716_03_20_2019_licenciatura_quimica.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2025.

IFCE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. **Manual de boas maneiras e normas em laboratórios de Química**. Fortaleza: IFCE, 2017. Disponível em: <https://portal.ifce.edu.br/documents/5685/Fortaleza_Lab_%C3%81guas_de_Mananciais_e_Residu%C3%A1rias_LIAMAR_NORMAS.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2025.

IPCC. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>>. Acesso em: 17 jun. 2025.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Hydrogen: a renewable energy perspective**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. Disponível em: <<https://www.irena.org/Publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

IRENA. Coalition for Action. **Decarbonising end-use sectors: practical insights on green hydrogen**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://coalition.irena.org//media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/Publication/IRENA_Coalition_Green_Hydrogen_2021.pdf> Acesso em: 07 jun. 2025.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2022. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2022/mar/world-energy-transitions-outlook-2022>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

IRENA. **Green hydrogen strategy: A guide to design**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2024. ISBN 978-92-9260-611-4. Disponível em: <<https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Green-hydrogen-strategy-A-guide-to-design>>. Acesso em: 21 mai. 2025.

JUNIOR, M. G. A; GEHLEN, S. T. Movimentos Tecnocientíficos na América Latina e suas Contribuições para a Pesquisa em Educação em Ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 25, n. e40793, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epec/a/yGDfTQcLTrjztzPNbK3ddLv/?lang=pt>>. Acesso em: 25 mai. 2025.

KARA PERNICE. Nielsen Norman Group. **UX Prototypes: low fidelity vs. high fidelity**. Low Fidelity vs. High Fidelity. 2016. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/ux-prototype--hi-lo-fidelity/>>. Acesso em 18 jun. 2024.

KAUANO, R. V.; MARANDINO, M. Paulo Freire in science education: Trends and articulations between scientific literacy and the STSE movement. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22. p. 1-27, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/39903>>. Acesso em: 25 jun. 2025.

KATZ, E. Electrochemical contributions: Sir Humphry Davy (1778–1829). **Electrochemical Science Advances**, v. 1, n. 2, p. e2160004, 2021. Disponível em: <<https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/elsa.202160004>>. Acesso em: 18 mai. 2025.

KREIMER, P.; VESSURI, H.; VELHO, L.; ARELLANO, A. Introducción. In: KREIMER, Pablo; VESSURI, Hebe; VELHO, Lea; ARELLANO, Alejandro (org.). **El estudio social de la ciencia y la tecnología en América Latina: miradas, logros y desafíos**. México: Siglo XXI, 2014. p. 7-27.

KUMAR, S; HIMABINDU, V. Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. **Material Science for Energy Technologies**, v.2, 3, p.442-454, dez. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299119300035>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LAUGKSCH, R. Scientific Literacy: A Conceptual Overview. **Science Education**, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000. Disponível em: <[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1%3C71::AID-SCE6%3E3.0.CO;2-C](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1%3C71::AID-SCE6%3E3.0.CO;2-C)>. Acesso em: 16 mar. 2025.

LAUGKSCH, R.; SPARGO, P. Construction of a paper-and-pencil Test of Basic Scientific Literacy based on selected literacy goals recommended by the American Association for the Advancement of Science. **Public Understanding of Science**, v. 5, p.331-359, 1996. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1088/0963-6625/5/4/003>>. Acesso em: 12 Abr. 2025

LAUGKSCH, R.; SPARGO, P. Scientific Literacy of Selected South African Matriculants Entering Tertiary Education: A Baseline Survey. **South African Journal of Science**, v. 95, p. 427-432, 1999. Disponível em: <<https://eric.ed.gov/?id=ED443720>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LEE, H. Recent developments in fuel cells and water electrolyzers. **JACS Au**, v. 4, n. 5, p. 1673-1675, 27 maio 2024. Disponível em:<<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacsau.4c00387>>. Acesso em: 17 mai. 2025.

LEITE, E.A.P. Formação inicial e base de conhecimento para o ensino de matemática na perspectiva de professores iniciantes da educação básica. 269f. **Tese** (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/SCAR_f0984a49fca0c34c69db10b21ed40c13>. Acesso em: 03 abr. 2025.

LIBÂNEO, José Carlos. **Democratização da escola pública: a pedagogia crítico-social dos conteúdos**. São Paulo: Loyola, 1994.

LIBÂNEO, J. C. *Didática*. São Paulo: Cortez, 1994. (Magistério 2º grau, Formação de professor).

LIU, H.; YU, M.; TONG, X.; WANG, Q.; CHEN, M. High Temperature Solid Oxide Electrolysis for Green Hydrogen Production. **Chemical Reviews**, v. 124, n. 18, p. 10509–10576, 2024. Disponível em: <<https://pubs-ac>

org.ez138.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1021/acs.chemrev.3c00795>. Acesso em: 30 mai. 2025.

LOCATELLI, C.; DINIZ-PEREIRA, J. E. Quem são os atuais estudantes das licenciaturas no Brasil? Perfil socioeconômico e relação com o magistério. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 26, n. 3, p. 225–243, jul./set. 2019. Disponível em: <<https://cajapio.ufma.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/12767>>. Acesso em: 3 out. 2025.

LORENZETTI, L. A alfabetização científica e tecnológica: pressupostos, promoção e avaliação na Educação em Ciências. In. MILARÉ, T. *et al.* Alfabetização Científica e Tecnológica na Educação em Ciências. Fundamentos e Práticas. 1. Ed. São Paulo: Livraria da Física, 2021. p. 47-71

LOPES, A. R. Livros Didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da ciência química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 74, n. 177, 1993. Disponível em: <<https://rbep.inep.gov.br/ojs3/index.php/rbep/article/view/1147>>. Acesso em: 05 out. 2025.

MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. David Bloor e o “Programa Forte” da sociologia da ciência: um debate sobre a natureza da ciência. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 22, p. e10625, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eppec/a/msffFvFv69Jbp6ZjhZ6yNYG/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 05 abr. 2025.

MARTÍNEZ PÉREZ, L. F. **Questões sociocientíficas na prática docente**: Ideologia, autonomia e formação de professores. São Paulo: Unesp, 2012. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/bd67t>>. Acesso em: 16 abr. 2024.

MARX, Karl. **O Capital**: crítica da economia política. Livro I. São Paulo: Boitempo, 2013.

MANZO, B. F.; CALDAS, M. M.; ALVES, T. F.; TOURINHO, F. S. V.; PREIS, L. C. Prototipação e validação: não é só ciência, é experiência, facilidade e dinamismo. In: TOURINHO, F. S. V.; CALDAS, M. M.; FERMO, V. C.; ALVES, T. F.; SCHUELTER, P. I. (org.). **Desenvolvimento de tecnologias em pesquisa e saúde: da teoria à prática**. 1. ed. São Paulo: Editora Científica Digital, 2022. p. 122–137. Disponível em: <<https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220408593.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

MELLO, C. C. A.; MALERBA, J.; TUPINAMBÁ, S. **Da transição energética à transição ecológica: a contribuição da justiça ambiental e um convite ao debate**. Rio de Janeiro: FASE, 2024. ISBN 978-65-87197-13-5. Disponível em: <<https://fase.org.br/pt/biblioteca/da-transicao-energetica-a-transicao-ecologica-a-contribuicao-da-justica-ambiental-e-um-convite-ao-debate/>>. Acesso em: 03 jan. 2025.

MELO, S. L. S. **Compósitos de quitosana aditivados com nanocelulose e óxido de grafeno (go) para eletrolisadores pem**. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76777>>. Acesso em: 16 mai. 2024.

MILLER, J. Scientific literacy: A conceptual and empirical review. **Daedalus: Journal of the American Academy of Arts and Sciences**, v. 112, n. 12, p. 29-48, 1983.

MILLER, H. A.; BOUZEK, K.; HNAT, J.; LOOS, S.; BERNÄCKER, C. I.; WEIßGÄRBER, T.; RÖNTZSCH, L.; MEIER-HAACK, J. Green hydrogen from anion exchange membrane water electrolysis: a review of recent developments in critical materials and operating conditions. **Sustainable Energy & Fuels**, v. 4, n. 5, p. 2114–2133, 2020. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/se/c9se01240k>>. Acesso em: 05 jun. 2025.

MIOT, H. A. **Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais**. *Jornal Vascular Brasileiro*, v. 17, n. 4, p. 275-279, out./dez. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1677-5449.174118>>. Acesso em: 03 jan. 2025.

NASA. **NASA Hydrogen History Informs World's Hydrogen Future**. Spinoff, 2025. Disponível em: <https://spinoff.nasa.gov/NASA_Hydrogen_History_Informs_World%E2%80%99s_Hydrogen_Future>. Acesso em: 05 jun. 2025.

NI, M.; LEUNG, M. K. H.; SUMATHY, K.; LEUNG, D.Y. C. Potential of renewable hydrogen production for energy supply in Hong Kong. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 31, n. 10, p. 1401-1412, ago. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319905003356>>. Acesso em: 18 mai. 2025.

OLAH, G. A.; GOEPPERT, A.; PRAKASH, G. K. S. **Beyond oil and gas: The methanol economy**. 3. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2018. Disponível em: <<https://www.wiley.com/en-us/Beyond+Oil+and+Gas%3A+The+Methanol+Economy%2C+3rd+Edition-p-9783527805679>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

OLIVEIRA, L. H. D. **Exemplo de cálculo de ranking médio para Likert**. 2005. Notas de aula da disciplina Metodologia Científica e Técnicas de Pesquisa em Administração, Mestrado em Administração e Desenvolvimento Organizacional, PPGA/CNEC-FACECA, Varginha.

OLIVEIRA, A. P. L. R.; COELHO, B. C. P.; SILVA, M. G. **Química inorgânica experimental**. 1. ed. Brasília: Editora IFB, 2016. Disponível em: <https://editora.ifb.edu.br/documents/135/367-Texto_do_artigo-1725-1-10-20161207.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. S.; TEREZA, V. G. P. A. A epistemologia da ciência e a formação do professor sob a perspectiva CTSA. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**. [S. l.], v. 15, n. 8, p. 7654–7669, 2023. Disponível em: <<https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/1503>>. Acesso em: 19 out. 2025.

ONU News. **COP30 alcança consenso sobre aceleração da ação climática, apesar de divisões** [online]. 22 nov. 2025. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2025/11/1851607>>. Acesso em: 12 dez. 2025.

ORESQUES, N.; CONWAY, E. M. **Mercadores da dúvida**: como um punhado de cientistas obscureceu a verdade sobre temas como fumo, aquecimento global e produtos químicos. São Paulo: Intrínseca, 2019.

PACEY, A. **La cultura de la tecnología**. México: Fondo de Cultura Económica, 1990.

PALACIOS, E. M. G.; GALBARTE, J. C. G.; CEREZO, J. A. L.; LUJÁN, J. L.; GORDILLO, M. M.; OSORIO, C.; VALDÉS, C. **Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual**. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), 2001. Bravo Murillo, 38, Madrid, España. Disponível em: <https://www.gub.uy/ministerio-educacion-cultura/sites/ministerio-educacion-cultura/files/documentos/publicaciones/ciencia_tecnologia_sociedad.pdf>. Acesso em: 15 out. 2025.

PANDÉY, D.; AGRAWAL, M. **Carbon footprint estimation in the agriculture sector**. In: S. S. Muthu (ed.), *Assessment of carbon footprint in different industrial sectors*, Volume 1. Singapore: Springer Singapore, 2014. p. 25–47. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-4560-41-2>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

PARÉ, G. Investigating Information Systems with Positivist Case Study Research. **Communications of the AIS**, v. 13, n. 18, 2004.

PASQUALI, L. **Psicometria**: teoria dos testes na psicologia e na educação. Petrópolis: Vozes, 2003. 397 p.

PASSALACQUA, M.; TRAVERSO, A. From LNG to LH2 in maritime transport: A review of technology, materials, and safety challenges. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 13, n. 9, p. 1748, 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2077-1312/13/9/1748>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

PATONIA, A. Green hydrogen and its unspoken challenges for energy justice. **Applied Energy**, Reino Unido, v. 377, p. 1-11, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924020579?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 out. 2024.

PEDRETTI, E. Teaching Science, Technology, Society and Environment (STSE) Education: Preservice Teachers' Philosophical and Pedagogical Landscapes. In: ZEIDLER, D. (org). **The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.219-239

PEDRETTI, E.; NAZIR, J. Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on: Currents in STSE Education. **Science Education**, v. 95, n. 4, p. 601–626, 2011. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.20435>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

PEDROSA, M. A. Educação para a sustentabilidade, educação em ciências, formação e desenvolvimento de professores de ciências. **Revista Extensão & Sociedade**, [S. l.], 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/extensaoesociedade/article/view/14731>>. Acesso em: 20 set. 2025.

PEKDAĞ, B. Prospective Chemists' and Pre-service Chemistry Teachers' Views about Science-Technology-Society (STS) Issues. **Croatian Journal of Education**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 11-53, 2014. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/291747586_Prospective_Chemists'_and_Pre-service_Chemistry_Teachers'_Views_about_Science-Technology-Society_STS_Issues> Acesso em: 15 jan. 2025.

PEREIRA, J. G. N. **O estudo de soluções químicas pela abordagem ciência, tecnologia e sociedade (CTS): uma proposta interdisciplinar de ensino para o 2º ano do ensino médio**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <http://biblioteca.ifce.edu.br/index.asp?codigo_sophia=113563>. Acesso em: 17 mai. 2025.

PEREIRA, L. T. K.; GODOY, D. M. A.; TERÇARIOL, D. Estudo de caso como procedimento de pesquisa científica: reflexão a partir da clínica fonoaudiológica. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 22, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/prc/a/Rjm8bQcZJjSn4MXZCpNzyLj/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

PEREIRA, L. L.; HUSSEIN, F. R. G. S. Abordagem CTSA no ensino de química: desafios e perspectivas na voz de docentes. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [S. l.], v. 17, n. 9, p.01-21, 2025. Disponível em: <<https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/9255>>. Acesso em: 20 out. 2025.

PINHEIRO, B. C. S.; SANTOS, C. L.; PENELUC, M. C. A educação ambiental na formação de professores de química da UFBA. **Educação & Formação**, v. 2, n. 4, p. 181–203, 2017. Disponível em: <<https://revistas.uece.br/index.php/redufor/article/view/129>>. Acesso em: 07 mai. 2025.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 13, n. 1, p. 71–84, abr. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/S97k6qQ6QxbyfyGZ5KysNqs/?lang=pt>>. Acesso em: 17 jun. 2025.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. O contexto científico-tecnológico e social acerca de uma abordagem crítico-reflexiva: perspectiva e enfoque. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 49/1, p. 1-14, mar, 2009. Disponível em: <<https://rieoei.org/RIE/article/view/2116>> Acesso em: 10 jul. 2025.

POMERANZ, K. **The great divergence: China, Europe, and the Making of The Modern World Economy**. Princeton: Princeton University Press, 2000.

POZZEBON, M.; FREITAS, H. M. R. Pela aplicabilidade: com um maior rigor científico – dos estudos de caso em sistemas de informação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 2, n. 2, p. 143-170, 1998. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rac/a/RKZp9dSG7c9f9VhpxTFvxpn/?format=html&lang=pt>>. Acesso em 10 abr. 2025.

PREUSTER, P.; PAPP, C.; WASSERSCHIED, P. **Liquid organic hydrogen carriers (LOHCs): Toward a hydrogen-free hydrogen economy.** *Accounts of Chemical Research*, v. 50, n. 1, p. 74–85, 2017. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.accounts.6b00474>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

PRICE, E. Durability and degradation issues in PEM electrolysis cells and its components. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 61, n. 1, p. 47–51, 2017. Disponível em: <<https://technology.matthey.com/content/journals/10.1595/205651317X693732>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

PRINZHOFER, A.; CISSÉ, C. S. T.; DIALLO, A. B. Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, n. 35, p. 19315-19326, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319918327861>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2013.

PUGA, Mariana dos Santos; ASCENCIOS, Yvan Jesus Olortiga. **Avanços e limitações da produção, armazenamento e transporte de hidrogênio verde.** *Latin American Journal of Energy Research*, v. 10, n. 2, p. 74-93, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p74-93>>. Acesso em: 17 set. 2024.

RAMMER, J. **Green capitalism or social and ecological justice? Analysing contested green hydrogen developments in Chile.** 2025. Dissertação (Mestrado) [s.l.]: [s.n.], 2025. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/handle/10419/333905>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

RAMOS, T. C. **O ensino de matriz energética na educação CTS: um estudo com práticas na formação de licenciandos da área de Ciências Naturais.** 2017. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/885738>>. Acesso em: 16 jun. 2025.

REGO, T. C. F.; PREVITALI, F. S. Falando em formação docente: perfil dos estudantes de licenciaturas em Minas Gerais. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 41, e48969, 2025. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/edur/a/wxJk9ByrQy5rCDrnGxKqcnf/>>. Acesso em: 03 out. 2025.

RESENDE, S. G. S. **A produção de vídeos por estudantes do ensino médio: um estudo motivacional da aprendizagem em Química.** 2016. 145 f. Dissertação (Mestrado em Educação e Docência) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/238760d1-7c2b-4e5c-ba69-9176fb174840/content>>. Acesso em: 15 jan. 2026.

RIBEIRO, E. S.; LEITE, E. A. P.; LEITE, K. G.; ULIANA, M. R. Alguns desafios e demandas da formação inicial de professores na contemporaneidade. **Formação de Profissionais da Educação.** *Educ. Soc.*, Campinas, v. 39, nº. 144, p.721-737, jul.-set., 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/es/a/yyCJRCdt8bMZXSfrdQRNBM/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RIBEIRO, Z. L. S.; SUART, R. C.; SUART JR, J. B.; SOUZA, J. A.; RESENDE, E. Processo de elaboração de sequências de aulas contextualizadas e investigativas por professores em formação inicial de química. **Indagatio Didactica**. [s/l]. v. 16. n.3, 2024. Disponível em: <https://proa.ua.pt/index.php/id/article/view/38625/25188>. Acesso em: 16 set. 2025.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo, SP: Atlas, 1999.

RIPOLL, C.C.; SILVA, H. A.; RANGEL, L. G.; VIANA, M. **Leitura crítica — Matemática: Ensino Fundamental [Parecer]**. Brasília: Ministério da Educação, 2017. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/relatorios-analiticos/Parecer_7_MA_Cydara_Cavedon_Ripoll_Hilario_Alencar_da_Silva_Leticia_Guimaraes_Rangel_Marcelo_Viana.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025

RODRIGUES, L. G. R.; SILVA, S. C. **Educação científica com enfoque em CTSA**. 1. ed. São Paulo - SP: InterSaberes, 2022. 291 p. ISBN 978-65-5517-377-2.

ROSA, S. E.; STRIEDER, R. B. Dimensões da democratização da ciência-tecnologia no âmbito da educação CTS. **Revista Insignare Scientia - RIS**, Brasil, v. 1, n. 2, 2018. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/8251>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ROSO, C. C.; AULER, D. A participação na construção do currículo: práticas educativas vinculadas ao movimento CTS. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 22, n. 2, p. 371–389, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/gm3VrdMVSD8rDBG4rNXpqcz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 abr. 2025.

RSC. ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. Hydrogen. **Royal Society of Chemistry**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/1/hydrogen>. Acesso em: 06 out. 2023.

RIAZ, M. A.; TROGADAS, P.; AYME-PERROT, D.; SACHS, C.; DUBOIS, N. et al. Water electrolysis technologies: the importance of new cell designs and fundamental modelling to guide industrial-scale development. **Energy & Environmental Science**, v. 18, p. 5190–5214, 2025. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/ee/d4ee05559d>. Acesso em: 22 mai. 2025.

RUFATTO, C. A.; CARNEIRO, M.C. A concepção de ciência de Popper e o ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 15, n. 2, p. 269–289, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/Sswtb7dhzwR7wQXCYxJKXPb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 out. 2026.

SALGADO, B. C. B.; JUCÁ, S. C. S.; OLIVEIRA, A. N.; PARDO, A. R. de A.; MATOS, F. F. S.; GUIMARÃES, G. F.; ASSUNÇÃO, J. C. C. (Orgs.). **Avanços em energias renováveis**. 1. ed. São Paulo, Brasil: LF Editorial, 2024. 115 f.

SALGADO, B. C. B. *et al.* Thermally assisted photocatalytic hydrogen production using TiO₂/Cu: Evaluation of performance and stability. **ChemCatChem**, v. 17, n. 14, p. 1–16, 2025. Disponível em:

<<https://chemistryeurope.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cctc.202500356>>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia da pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANDRI, S.; GONÇALVES, A. M.; DEITOS, R. A. BNC-formação inicial e continuada de professores: noção e dimensões da profissionalização docente. **Revista e-Curriculum**, [S. l.], v. 22, p. 1-21, 2024. Disponível em: <<https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/65693>>. Acesso em: 17 abr. 2025.

SANTIAGO, O. P. **Perspectivas da abordagem ciência, tecnologia e sociedade e suas relações com as capacidades de pensamento crítico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/handle/riufs/8329>>. Acesso em: 15 jan. 2026.

SANTOS, J. C. S. *et al.* Bismuth-based nanomaterials-assisted photocatalytic water splitting for sustainable hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 52, p. 594–611, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319923022991>>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SANTOS NETO, M. B. **Formação de professores de Química no Programa Residência Pedagógica: reflexões expressas na relação teoria-prática**. 2023. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/9322/2/Manuel>>. Acesso em: 18. abr. 2025.

SANTOS, W. L. P. Significados da educação científica com enfoque CTS. *In*: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. (Orgs.). **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.

SANTOS, W.L.P.; MORTIMER, E.F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v.02, n. 2, p.110-132, 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epec/a/QtH9SrxpZwXMwbpfpp5jqRL/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 25 set. 2024.

SANTOS, J.C.S.; ZAVALA, V. R.; PEREIRA, I.B.; VIEIRA, R. S.; AIRES, F. I. S.; DARI, D.N.; FÉLIX, J.H.S.; LIMA, R.K.C. Challenges and innovations in green hydrogen storage technologies. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 113, p. 322–339, 2025. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319925010651>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.16, n.1, p. 59-77, 2011. Disponível em:<<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/246>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SASSERON, L. H.; DUSCHL, R. A. Ensino de Ciências e as Práticas Epistêmicas: O papel do Professor e o Engajamento dos Estudantes. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 52–67, 2016. Disponível em: <<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/19>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

SASSERON, L. H.; MACHADO, V. F. **Alfabetização Científica na prática: inovando a forma de ensinar Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

SASSERON, L. H.; OROFINO, R. P. Alfabetização científica na perspectiva das Ciências da Natureza: Discussões a partir de domínios do conhecimento científico. **Revista Brasileira de Educação em Geografia**, v. 15, n. 25, p. 05–23, 2025. Disponível em: <<https://www.revistaedugeo.com.br/revistaedugeo/article/view/1522>>. Acesso em: 13 dez. 2025.

SAUER, Ildo Luís. Uma análise da hegemonia do petróleo e os desafios da transição energética sob a perspectiva da economia política. **Princípios**, v. 43, n. 170, p. 9–50, 2024. Disponível em: <<https://revistaprincipios.emnuvens.com.br/principios/article/view/482>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SAVIANI, D. Escola e democracia. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 5–18, 1979.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações**. 11. ed. rev. Campinas: Autores Associados, 2011.

SCHWAN, G.; SANTOS, R. A. Pressupostos Freireanos, CTS e PLACTS no Ensino de Ciências: Aproximações e Distanciamentos. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 9, n. 3, p. e21084, 2021. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/12803>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SHEN, B. Science literacy and the public understanding of science. *In: Communication of Scientific Information*. Karger Publishers, p. 44-52, 1975.

SHIVA KUMAR, S.; LIM, H. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. **Energy Reports**, v. 8, p. 13793–13813, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722020625>>. Acesso em: 21 mai. 2025.

SILVA, L. M.; BASTOS, F. Abordagem interdisciplinar de questões sociocientíficas: a contribuição de um projeto didático sobre a dengue para a formação inicial de professores. *In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)*, 7., 2009, Florianópolis. Anais eletrônicos [...]. Florianópolis: ABRAPEC, 2009. Disponível em: <<https://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vii/enpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/591.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

SILVA, S. C.; OLIVEIRA, A. A. L.; Formação inicial de professores de química: formação específica e pedagógica . *In: NARDI, R. (org.) Ensino de ciências e matemática*, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p.

SILVA, W.; CARNEIRO, C. FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA NO BRASIL: formar para a docência ou para a indiligência pedagógica? **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 8, n. 25, p. 263–276, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.apps.uern.br/index.php/RECEI/article/view/3258>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SILVA, J. V. A.; VASCONCELLOS, K. R.; FERRAZ, R. S. C. Eficiência Energética: Planejamento de conservação de energia nas empresas. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 5, p. 1076–1094, 2023. Disponível em: <<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9664>>.

SNYDERS, G. **A Alegria na Escola**. São Paulo: Manole, 1988.

SOUSA, A. A.; BRASIL, A.D.M. Reforço escolar em Química. *In*: Formação de Professores: As experiências de iniciação à docência no IFCE. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

SOUSA, A. B. **Estudo de um eletrolisador bipolar alcalino visando a produção de H₂**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013. Disponível em: <<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/6272/3/A%C3%89CIO%20BARBOSA%20SOUSA%20-%20TESE%20PPGEQ%202013.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2025.

SPIRO, G.; STIGLIANI, M. **Química ambiental**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

STAFFELL, I.; SCAMMAN, D.; VELAZQUEZ ABAD, A.; BALCOMBE, P.; DODDS, P. E.; EKINS, P.; SHAH, Nilay; WARD, Kate R. The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. **Energy and Environmental Science**, v. 12, n. 2, p. 463–491, 2019. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/ee/c8ee01157e>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

STAKE, R. E. **A ARTE DE INVESTIGACAO COM ESTUDOS DE CASO**. 2ª. ed. Tradução: Ana Maria Chaves. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian, 2009.

SUN, C.W.; HSIAU, S.S. Effect of electrolyte concentration difference on hydrogen production during PEM electrolysis. **Journal of Electrochemical Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 99-108, 2018. Disponível em: <https://jecst.org/upload/pdf/E1JTC5_2018_v9n2_99.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2025.

SZYDŁO, Z. A. Hydrogen – some historical highlights. **Chemistry, Didactics, Ecology, Metrology**, v. 25, n. 1-2, p. 5-34, Jan. 2021. Disponível em: <<https://reference-global.com/article/10.2478/cdem-2020-0001>>. Acesso em: 16 mai. 2025.

TEIXEIRA, P. M. M. Estados da Arte: aparando arestas na compreensão dessa modalidade de pesquisa. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 29, n. e23034, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/vZDnsY48PqFyr5Jc7N7htbp/?lang=pt>>. Acesso em: 16 jun. 2025.

TEIXEIRA, PMM; FONSECA, C.; SANTOS, M. A interdisciplinaridade em práticas vinculadas à Educação CTS: uma análise de artigos brasileiros. **Indagatio Didactica**, v. 16, n. 3, p. 935–950, 2024. Disponível em: <<https://proa.ua.pt/index.php/id/article/view/38583>>. Acesso em: 19 out. 2025.

TESSER, G. J. Principais linhas epistemológicas contemporâneas. **Educar em Revista**, n. 10, p. 91–98, 1994. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/er/a/RqVtSyMvVkrCQVGtbxKYZpt/?lang=pt>>. Acesso em: 02 abr. 2025.

THE WORLD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing 2022**. Washington, DC: The World Bank, 2022. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a1abead2-de91-5992-bb7a-73d8aaaf767f>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

TRINDADE, W. N.; PAHIM, M. L. L. Estudantes trabalhadores: um estudo sobre fruição no ensino superior entre alunos da Universidade Federal do ABC. **Jornal de Políticas Educacionais**, v. 19, e99456. 2025. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/jpe/article/view/99456/76209>>. Acesso em 17 out. 2025.

TUNN, J.; KALT, T.; MÜLLER, F.; SIMON, J.; HENNIG, J.; ITUEN, I.; GLATZER, N. Green hydrogen transitions deepen socioecological risks and extractivist patterns: evidence from 28 prospective exporting countries in the Global South. **Energy Research & Social Science**, v. 117, p. 103731, nov. 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629624003220>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

UNFCCC. Key aspects of the Paris Agreement. In: United Nations Climate Change. **The Paris Agreement**. Paris, 2015. Disponível em: <<https://unfccc.int/most-requested/key-aspects-of-the-paris-agreement>>. Acesso em: 15 out. 2024.

UNDP. United Nations Development Programme. **The Climate Dictionary: An everyday guide to climate change**. New York: UNDP, 2023. Disponível em: <<https://www.undp.org/publications/climate-dictionary>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

VALLADARES, L. Scientific literacy and social transformation: critical perspectives about science participation and emancipation. **Science & Education**, Dordrecht, v. 30, n. 3, p. 557–587, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-021-00205-2>>. Acesso em: 10 mar. 2026.

VALERA-MEDINA, A.; XIAO, H.; OWEN-JONES, M.; DAVID, W.I.F; BOWEN, P. J. Ammonia for power. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 69, p. 63–102, 2018. Disponível em: <<https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:b3dafc76-1317-4c12-9765-b1c6f5b2ced0/files/m534a8dfca96522ed89bfa05d4b54d661>>. Acesso em: 05 jun. 2025.

VILCHES, A.; GIL PÉREZ, D.; PRAIA, J. De CTS a CTSA: educação por um futuro sustentável. In: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. (Orgs.). **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.

VIZZOTTO, P. A.; MACKEDANZ, L. F. Análise psicométrica do teste de alfabetização científica básica simplificado. **Vidya**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 315-333, jan./jun. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.37781/vidya.v40i1.3109>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

VIZZOTTO, P. A.; MACKEDANZ, L. F. Teste de Alfabetização Científica Básica: processo de redução e validação do instrumento na língua portuguesa. **Revista Prática Docente**, v. 3, n. 2, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/580>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

VIZZOTTO, P. A.; PINO, J.C.D. O uso do teste de alfabetização científica básica no Brasil: uma revisão da literatura. **Ensino Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22, p. 1-17, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epec/a/CbPWVprgbZSPrzJnKZjVymm/>>. Acesso em:

VON LINSINGEN, I. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. especial, p. 1-19, nov., 2007.

XIE, R.; JIN, Q.; SU, G.; LU, W. A Review of Hydrogen Storage and Transportation: Progresses and Challenges. **Energies**, v. 17, n. 16, p. 4070, 5 ago. 2024. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/17/16/4070>>. Acesso em: 17 mai. 2025.

XU, F.; QIU, K.; LIN, B.; REN, Y.; LI, J.; DING, J.; HICKNER, M. A. Enhanced performance of poly(olefin)-based anion exchange membranes cross-linked by triallylmethyl ammonium iodine and divinylbenzene. **Journal of Membrane Science**, v. 636, p. 119629, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376738821005755>>. Acesso em: 05 jun. 2025.

WAGNER, O.; GÖTZ, T. Presentation of the 5Ds in energy policy: a policy paper to show how Germany can regain its role as a pioneer in energy policy. **Energies**, v. 14, n. 20, p. 6799, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/14/20/6799>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

WANG, T; CAO, X.; JIAO, L. PEM water electrolysis for hydrogen production: fundamentals, advances, and prospects. **Carbon Neutrality**, v.1, 21, 02 jun. 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s43979-022-00022-8>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

WALLINGTON, T. J.; WOODY, M.; LEWIS, G. M.; KEOLEIAN, G. A.; ADLER, E. J.; MARTINS, J. R. R. A.; COLLETTE, M. D. Hydrogen as a sustainable transportation fuel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 217, p. 115-725, 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032125003983?via%3Dihub>>. Acesso em: 03 ago. 2025.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our Common Future. Oxford University Press. Oxford and New York. Em português: Comissão Mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Ed. da Fundação Getúlio Vargas. 1987. 430p.

WROBEL, F. C. M. O papel da educação ambiental no estudo das fontes renováveis de energia nas escolas brasileiras. **Interfaces Científicas - Direito**, p. 73–87, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/direito/article/view/1988>>. Acesso em: 10 jan. 2026.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZOLLER, Uri. Science, technology, environment, society (STES) literacy for sustainability: What should it take in chem/science education? **Educación química**, v. 24, n. 2, p. 207–214, 2013. Disponível em: <<https://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/36766>>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ZONG, S.; ZHAO, X.; JEWELL, L. L.; ZHANG, Y.; LIU, X. Advances and challenges with SOEC high temperature co-electrolysis of CO₂/H₂O: Materials development and technological design. **Carbon Capture Science & Technology**, v. 12, art. 100234, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656824000460>>. Acesso em: 30 mai. 2025.



ANEXO A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO E EXISTÊNCIA DE INFRAESTRUTURA

Nós, _____, coordenador(a) do curso de licenciatura em Química e, _____, chefe do Departamento de Extensão, Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação – DEPPI, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Maracanaú, autorizamos a realização do projeto intitulado “HIDROGÊNIO VERDE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE QUÍMICA: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO A PARTIR DA EDUCAÇÃO CTSA” pelos pesquisadores Calliu Carneiro Barbosa e Caroline de Goes Sampaio, que envolverá o processo investigativo de um estudo de caso com alunos da disciplina de Didática do Ensino de Química do curso de licenciatura em Química, mediante a aplicação de seis (06) questionários, a elaboração de três (03) relatórios experimentais, de um (01) plano de aula e a realização de dez (10) encontros para coleta de dados, que será iniciado após a aprovação pelo Sistema CEP-CONEP.

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Maracanaú está ciente de seu compromisso no resguardo da segurança e bem-estar dos participantes da pesquisa, dispondo de infraestrutura necessária para desenvolvê-la em conformidade às diretrizes e normas éticas. Ademais, ratificamos que não haverá quaisquer implicações negativas ao professor(a) e aos alunos(as) que não desejarem ou desistirem de participar do projeto.

Declaramos, outrossim, na condição de representantes desta organização, conhecer e cumprir as orientações e determinações fixadas nas Resoluções nos 466, de 12 de dezembro de 2012, e 510, de 07 de abril de 2016, e Norma Operacional no 001/2013, pelo Conselho Nacional de Saúde (CNS), e disponíveis no Regimento Interno do Comitê de Ética em Pesquisa do IFCE.

Maracanaú, ____ de _____ de 2025.

Assinatura e carimbo do(a) Coordenador(a) do curso de licenciatura em Química do
IFCE – *Campus* Maracanaú

Assinatura e carimbo do(a) responsável pelo Departamento de Extensão, Pesquisa,
Pós-Graduação e Inovação (DEPPI) do IFCE – *Campus* Maracanaú

ANEXO B – CÓPIA DO PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP / IFCE

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ -
IFCE

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: HIDROGÊNIO VERDE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE QUÍMICA: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO A PARTIR DA EDUCAÇÃO CTSA

Pesquisador: CALLIU CARNEIRO BARBOSA

Área Temática: CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Versão: 2

CAAE: 86474125.9.0000.5589

Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO CEARA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio
FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.446.211

Apresentação do Projeto:

No Brasil, normativas como as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (2001), a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (2019), e as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior de Profissionais do Magistério da Educação Escolar Básica (2024), no tocante aos cursos de licenciatura em Química, destacam a importância do acompanhamento dos avanços científico-tecnológicos educacionais, do uso do laboratório e da experimentação como um recurso pedagógico, além do incentivo a compreensão crítica de questões socioambientais. Consoante a isso, coadunando o que se estabelece nos documentos oficiais, as estratégias de ensino no âmbito das Ciências Naturais têm intensificado estudos de temáticas que incorporem a relação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA). Essa abordagem, intenciona desvelar e integrar os avanços científicos e tecnológicos ao cotidiano dos alunos, abordando impactos sociais e ambientais dessas inovações. E, desse modo, este estudo propõe analisar uma estratégia de ensino sobre os aspectos científicos (químicos e eletroquímicos), tecnológicos (produção, armazenamento e transporte) e socioambientais (problematizações, reflexões e impactos) do hidrogênio verde (H2V), através do enfoque educacional CTSA e suas contribuições para aprendizagem de uma turma de graduandos do curso de licenciatura em Química, presente no Instituto Federal de Educação, Ciência e

Endereço: Rua Jorge Dumar, nº 1703

Bairro: Jardim América

CEP: 60.410-426

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85) 3401-2332

E-mail: cep@ifce.edu.br

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ -
IFCE**



Continuação do Parecer: 7.446.211

Tecnologia do Ceará - IFCE (Campus Maracanaú). Para isso, se desenvolverá um estudo de caso único, cuja natureza será de caráter exploratório e descritivo, contando com a participação de 20 a 30 licenciandos da disciplina de Didática do Ensino de Química e de um(a) docente da mesma componente curricular. Portanto, é intuito metodológico específico desta pesquisa, comparar concepções críticas e contextualizadas dos licenciandos dentro da abordagem e interrelações CTSA, isto é, nos momentos de pré-teste e pós-teste. Isto posto, denotar-se-á esta análise, em dez (10) encontros, incorporando o caminho metodológico de uma sequência didática, estruturada nos três momentos pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018). Ademais, tenciona-se as visões prévias dos licenciandos com as noções vindouras desta pesquisa. Em linhas gerais, este ensaio deseja trazer melhorias na capacitação e formação inicial de professores de Química, particularmente, evidenciando os resultados de uma proposta de ensino CTSA atrelada aos contributos dos avanços tecnológicos e a elucidação do hidrogênio verde.

Metodologia:

Este estudo tem o objetivo de analisar uma estratégia de ensino para a formação inicial de professores do curso de licenciatura em Química, utilizando como ferramenta, o hidrogênio verde, incorporando aspectos científicos, sociais, tecnológicos e ambientais ligados a essa fonte de energia renovável. A perspectiva de ensino em uma abordagem de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente visa compreender os impactos científicos e tecnológicos (C&T) na esfera social e, por conseguinte, as mudanças ambientais acarretadas. O crescimento incessante da economia global, um cenário de tensões geopolíticas agudas e as reservas limitadas de combustíveis fósseis, juntamente com a eminente preocupação em relação a sustentabilidade e impactos ambientais, apontam para a necessidade do desenvolvimento de novas fontes energéticas, mitigando emissões de carbono para atmosfera, que corroboram sobremaneira, para avanços nas pesquisas neste campo. Desse modo, apresenta-se, coadunando estes argumentos, a proposta de aplicar uma sequência didática baseada pautada na abordagem CTSA e estruturada nos três momentos pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018), em turmas da modalidade superior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), presentes na região metropolitana de Fortaleza e avaliar os resultados desta experiência. A proposta consistirá em aulas elaboradas a partir do viés das energias renováveis estruturadas nos três momentos pedagógicos 3MP (Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação), especialmente sobre o hidrogênio verde (H₂V), contendo conteúdos transversais de Química, a elaboração de três (03) relatórios das práticas experimentais realizadas pelos estudantes, um (01) plano de aula e sua respectiva apresentação por equipe. Na pesquisa, haverá cinco (05) etapas: 1. Ambientação do pesquisador responsável e assinatura dos TCLE; 2. Aplicação do questionário I e II para verificação do perfil socioeconômico e a frequência de percepções dos licenciandos; 3. Aplicação do questionário III e IV (prévio); 4. Aulas (teóricas e práticas); 5. Aplicação do questionário III e V (posterior). Além disso, terá um questionário que será aplicado ao docente da disciplina (Questionário VI).

Endereço: Rua Jorge Dumar, nº 1703

Bairro: Jardim América

CEP: 60.410-426

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85) 3401-2332

E-mail: cep@ifce.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ -
IFCE



Continuação do Parecer: 7.446.211

Os critérios para a inclusão dos participantes nesta pesquisa não se distinguirão quanto à idade, à raça, ao gênero ou quaisquer outros parâmetros físicos e sociais. As únicas restrições serão de que os estudantes, bem como o professor regente da disciplina, leiam e assinem deliberadamente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), e no caso dos discentes, estejam regularmente matriculados no curso de licenciatura em Química, na referida disciplina citada anteriormente.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Analisar uma estratégia de ensino para a formação inicial de professores do curso de licenciatura em Química, utilizando como ferramenta, o hidrogênio verde, incorporando aspectos científicos, sociais, tecnológicos e ambientais ligados a essa fonte de energia renovável.

Objetivo Secundário:

- a) Demonstrar a síntese de hidrogênio verde (H₂V), para os estudantes de licenciatura em Química do Instituto Federal do Ceará, através do método de eletrólise da água;
- b) Aplicar e avaliar, junto aos discentes de licenciatura em Química, uma sequência didática embasada nos três momentos pedagógicos (3MP), envolvendo a abordagem educacional CTSA e os aspectos inerentes ao hidrogênio verde;
- c) Descrever e interpretar as percepções prévias dos estudantes sobre o desenvolvimento habitual de suas aprendizagens durante o curso de licenciatura em Química, assim como as perspectivas decorrentes da execução desta proposta de ensino, utilizando como questionário avaliativo de pesquisa, uma adaptação ao Teste de Alfabetização Científica Básica (TACB);
- d) Explorar a disposição dos licenciandos em Química em relação a investigação e seu desenvolvimento durante a formação inicial e a frequência com que os mesmos aplicarão os conhecimentos sobre energias renováveis, excepcionalmente sobre o hidrogênio verde e seus aspectos educacionais CTSA, em suas práticas pedagógicas formativas e futuras.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

- * Desconfortos dos estudantes por não aprenderem o conteúdo estudado. Tal risco, é considerado moderado;
- * Possibilidade de constrangimento ao responder os instrumentos de coleta de dados. Este risco é considerado mínimo, porque os questionários foram elaborados e avaliados com rigor ético e moral;
- * Medo de não saber responder ou de ser identificado. Este risco é considerado mínimo, porque os pesquisadores asseguram o sigilo, a confiabilidade e imparcialidade neste estudo;
- * Estresse. Este risco é considerado mínimo;

Endereço: Rua Jorge Dumar, nº 1703

Bairro: Jardim América

CEP: 60.410-426

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85) 3401-2332

E-mail: cep@ifce.edu.br

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ -
IFCE**



Continuação do Parecer: 7.446.211

- * Quebra de sigilo. Este risco é considerado mínimo, pois só os pesquisadores e o Comitê de Ética em Pesquisa do IFCE, terão acesso aos dados coletados;
- * Cansaço ou vergonha ao responder às perguntas. Este risco é considerado mínimo;
- * Risco de acidente: Este risco coloca em perigo a integridade e o bem-estar físico e moral do profissional que trabalha dentro do local. Os maiores riscos estão associados a máquinas e equipamentos que podem causar incêndios e explosões. Acidentes mais comuns: queimaduras, cortes e perfurações. Esse risco é classificado como mínimo, pois não será manuseado diretamente nenhum equipamento dessa natureza;
- * Riscos ergonômicos: Acontecem devido aos esforços repetitivos que prejudicam a postura do profissional, causando lesões graves e que podem afetar a realização de suas atividades laboratoriais. São considerados riscos ergonômicos todas as ações que podem interferir nas características psicofisiológicas do profissional. Os melhores exemplos desses riscos são: levantamento de peso, execução de movimentos repetitivos, trabalho em turnos muito longos e postura incorreta do trabalhador durante a execução de suas funções. Esse risco é classificado como moderado;
- * Riscos físicos: O risco físico pode ser gerado por máquinas e condições físicas inadequadas, tais como: pressões anormais, temperaturas extremas de frio ou calor, ruídos e vibrações, umidade, radiações ionizantes e não ionizantes. Esse risco é classificado como mínimo, pois os sujeitos não serão expostos diretamente a tais condições citadas anteriormente.
- * Riscos químicos: Estão relacionados com a exposição do profissional a agentes ou substâncias químicas na forma líquida, gasosa ou em forma de partículas encontradas no (poeira, mineral e vegetal), podendo penetradas vias respiratórias, pele ou ser ingeridas. Esse risco é classificado com alto, visto que os sujeitos irão manejar reagentes químicos. No entanto, tudo acontecerá com a devida supervisão dos pesquisadores e mediante a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) que serão descritos posteriormente.
- * Riscos biológicos: Está relacionado ao manuseio ou contato com materiais biológicos e/ou animais infectados com agente biológicos nocivos como: bactérias, fungos, vírus e protozoários. Este tipo de risco é responsável por uma série de doenças que podem prejudicar a saúde do profissional. Esse risco é identificado como mínimo, visto que nenhum dos itens descritos acima fazem parte da aula experimental dessa pesquisa. Para evitar os riscos existentes dentro desse ambiente, todos os sujeitos da pesquisa devem seguir as normas técnicas e legais e utilizar os EPIs mais adequados para a proteção contra esses agentes. São indicados para esse tipo de atividade os seguintes EPIs:
 - *Jaleco ou bata de segurança;
 - *Luvas descartáveis de nitrílica, borracha ou látex;
 - *Máscara de proteção respiratória;
 - *Óculos de proteção.

Endereço: Rua Jorge Dumar, nº 1703

Bairro: Jardim América

CEP: 60.410-426

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85) 3401-2332

E-mail: cep@ifce.edu.br

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ -
IFCE**



Continuação do Parecer: 7.446.211

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa desenvolvida por pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE campus Fortaleza, do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Constam os documentos obrigatórios: Folha de rosto, Informações Básicas do Projeto, Projeto Detalhado, Cronograma, Orçamento, Declaração de garantia de regresso dos benefícios da pesquisa, Declaração de compromisso de apresentação de resultados, Termo de autorização e existência de infraestrutura, Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (1. de discentes; 2. de docente), Instrumentos de coleta de dados (fracionado em seis arquivos).

Recomendações:

Sem recomendações

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

Submeter a esta plataforma o relatório contemplando a execução e os resultados desta pesquisa, após sua finalização.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2493053.pdf	12/03/2025 18:07:00		Aceito
Outros	Declaracao_CEP_assinado.pdf	12/03/2025 18:06:09	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_DOCENTE.pdf	12/03/2025 18:05:40	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_DISCENTE.pdf	12/03/2025 18:05:30	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_CEP_CALLIU.pdf	12/03/2025 18:05:18	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito

Endereço: Rua Jorge Dumar, nº 1703

Bairro: Jardim América

CEP: 60.410-426

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85) 3401-2332

E-mail: cep@ifce.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - IFCE



Continuação do Parecer: 7.446.211

Parecer Anterior	PB_PARECER_CONSUBSTANCIADO_CEP_7431138.pdf	12/03/2025 18:05:02	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	31/01/2025 20:43:32	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	QUESTIONARIO_V.pdf	30/01/2025 22:13:07	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	QUESTIONARIO_VI.pdf	30/01/2025 22:11:22	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	QUESTIONARIO_IV.pdf	30/01/2025 22:10:03	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	QUESTIONARIO_III.pdf	30/01/2025 22:09:29	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	QUESTIONARIO_II.pdf	30/01/2025 22:08:58	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	QUESTIONARIO_I.pdf	30/01/2025 22:08:31	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	Declaracao_de_compromisso_Calliu_d o s_resultados_assinado_assinado.pdf	30/01/2025 22:05:08	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Outros	Declaracao_de_regresso_Calliu_da_p esquisa_assinado_assinado.pdf	30/01/2025 22:04:23	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Orçamento	Orcamento_Calliu_assinado_assinado. pdf	30/01/2025 21:43:14	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
Cronograma	Cronograma_3_Calliu_assinado_assin a do.pdf	30/01/2025 21:42:32	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito

Endereço: Rua Jorge Dumar, nº 1703

Bairro: Jardim América

CEP: 60.410-426

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85) 3401-2332

E-mail: cep@ifce.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ -
IFCE



Continuação do Parecer: 7.446.211

Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_de_Infraestrutura_IFCE_Mara canau.pdf	30/01/2025 21:42:14	CALLIU CARNEIRO BARBOSA	Aceito
--	--	------------------------	-------------------------------	--------

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FORTALEZA, 17 de Março de 2025

Assinado por:
Luiz Torres Raposo Neto
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Jorge Dumar, nº 1703

Bairro: Jardim América

CEP: 60.410-426

UF: CE

Município: FORTALEZA

Telefone: (85) 3401-2332

E-mail: cep@ifce.edu.br



**ANEXO C - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO(A)
PROFESSOR(A) REGENTE PARA PARTICIPAÇÃO DA PESQUISA**

**HIDROGÊNIO VERDE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE
QUÍMICA: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO A PARTIR DA EDUCAÇÃO CTSA**

CALLIU CARNEIRO BARBOSA E CAROLINE DE GOES SAMPAIO

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PGECM) do Instituto Federal do Ceará – *Campus* Fortaleza. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), visa assegurar seus direitos como participante e é elaborado em duas vias, uma que deverá ficar com você e outra com o pesquisador responsável.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador responsável. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento da pesquisa. Os pesquisadores esclarecem que não serão feitas filmagens e/ou gravações durante a pesquisa.

Justificativa e objetivos:

Este estudo tem o objetivo de analisar uma estratégia de ensino para a formação inicial de professores do curso de licenciatura em Química, utilizando como ferramenta, o hidrogênio verde, incorporando aspectos científicos, sociais, tecnológicos e ambientais ligados a essa fonte de energia renovável. A perspectiva de ensino em uma abordagem de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente visa compreender os impactos científicos e tecnológicos (C&T) na esfera social e, por conseguinte, as mudanças ambientais acarretadas. O crescimento incessante da economia global, um cenário de tensões geopolíticas agudas e as reservas limitadas de combustíveis fósseis, juntamente com a eminente preocupação em relação a sustentabilidade e impactos ambientais, apontam para a necessidade do desenvolvimento de novas fontes energéticas, mitigando emissões de carbono para atmosfera, que corroboram sobremaneira, para avanços nas pesquisas neste campo. Desse modo, apresenta-se, coadunando estes argumentos, a proposta de aplicar uma sequência didática baseada pautada na abordagem CTSA e estruturada nos três momentos pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Penambuco (2018), em turmas da modalidade superior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), presentes na região metropolitana de Fortaleza e avaliar os resultados desta experiência.

Procedimentos:

Participando do estudo você está sendo convidado contribuir com os estudos sobre a Química, particularmente através da proposta de ensino contextualizado sobre o Hidrogênio Verde (H₂V), e a responder um (01) questionário que, após entregue, deverá ser preenchido em

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



até duas horas contínuas (esse tempo poderá ser estendido por mais duas horas contínuas conforme a necessidade do participante):

Questionário VI: Questionário docente sobre a aprendizagem dos estudantes de licenciatura em Química durante o estudo de caso.

Na pesquisa, haverá três (03) etapas: 1. Ambientação do pesquisador responsável e assinatura dos TCLE; 2. Aulas (teóricas e práticas); 3. Aplicação do questionário docente sobre a aprendizagem dos estudantes de licenciatura em Química durante o estudo de caso

Todas as informações coletadas nos questionários serão digitalizadas e armazenadas em um dispositivo eletrônico local dos pesquisadores, podendo, desse modo, ser consultadas a qualquer tempo que o Comitê de Ética do IFCE achar devido. Esses dados serão armazenados em um período de sessenta meses (05 anos), após a aplicação desta pesquisa.

Desconfortos e riscos:

Você **não** deve participar deste estudo se não estiver totalmente confortável e ciente da atividade pedagógica que será desenvolvida, motivadores da investigação ou qualquer influência que isso poderá implicar a sua personalidade emocional/religiosa ou a qualquer outro parâmetro de sua relevância. Os pesquisadores esclarecem que os únicos riscos possíveis envolvem possibilidade de:

- Constrangimento do docente ao responder o instrumento de coleta de dados. Este risco é considerado mínimo, porque o questionário foi elaborado e avaliado com rigor ético e moral;
- Medo de não saber responder ou de ser identificado na instituição. Este risco é considerado mínimo, porque os pesquisadores asseguram o sigilo, a confiabilidade e imparcialidade neste estudo;
- Estresse. Este risco é considerado mínimo;
- Quebra de sigilo. Este risco é considerado mínimo, pois só os pesquisadores e o Comitê de Ética em Pesquisa do IFCE, terão acesso aos dados coletados;
- Cansaço ou vergonha ao responder às perguntas. Este risco é considerado mínimo.

Ratificamos que, foram adotadas estratégias para evitar esses riscos, como a garantia que as perguntas fossem claras, objetivas e respeitosas, oferecendo a opção de **não** responder, caso o participante se sinta desconfortável. Além disso, deixamos claro que não há respostas certas ou erradas, mas adequadas a sua opinião. Na elaboração dos questionários, evitou-se perguntas sensíveis ou intrusivas, utilizando linguagem acolhedora e perguntas que não venham gerar desconforto emocional. Destacamos, ainda, o sigilo e a imparcialidade dos dados coletados.

O instrumento de coleta a ser preenchido, **não** exige esforço excessivo, sendo de fácil compreensão e, permitindo, que você responda no momento e ambiente confortáveis. Garantimos que qualquer divulgação dos resultados será feita de forma agregada, sem identificação, prezando pelo anonimato. Oferecemos tempo de 02 (duas) horas para o seu devido preenchimento, que poderá ser estendido por mais 02 (duas) horas, caso seja necessário. Permite-se a pausa ou interrupção a participação na pesquisa a qualquer momento, sem haver prejuízo.

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



Benefícios:

Proporcionar, pela educação CTSA (Ciência – Tecnologia – Sociedade – Ambiente), uma compreensão ampla, contextualizada e reflexiva dos conteúdos de Química, inerentes ao hidrogênio verde, bem como o desenvolvimento de competências e habilidades práticas voltadas ao funcionamento do arcabouço tecnológico desta fonte energética renovável, contribuindo para capacitação e formação inicial de professores de Química do Instituto Federal de Educação do Ceará – IFCE *Campus* Maracanaú.

Acompanhamento e assistência:

Os pesquisadores se comprometem a acompanhar todas as etapas deste estudo, tanto nos encontros presenciais de aplicação, quanto nos momentos não presenciais, por meio dos canais de comunicação informados neste documento.

Em caso de desconforto ou necessidade de assistência por parte dos participantes, os pesquisadores estarão disponíveis para acolher e encaminhar a demanda de forma apropriada, respeitando a autonomia dos participantes. Caso surjam eventos adversos ou situações que demandem suporte especializado, será prestada a devida orientação quanto às possibilidades de atendimento disponíveis, garantindo que os participantes possam acessar os serviços adequados conforme sua necessidade e escolha.

No caso de incidentes durante a pesquisa, como eventual mal-estar ou acidentes no ambiente do estudo, os participantes serão orientados e encaminhados para atendimento de primeiros socorros em unidades de saúde acessíveis, respeitando as normas institucionais e as diretrizes éticas vigentes. Além disso, será garantido ao participante o direito de interromper sua participação na pesquisa a qualquer momento, caso sinta desconforto ou considere necessário.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado.

Ressarcimento e indenização:

Você terá direito ao ressarcimento das despesas diretamente decorrentes de sua participação na pesquisa e à indenização pelos danos resultantes desta, nos termos da Lei.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com os pesquisadores: Calliu Carneiro Barbosa, Diretoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, (85) 98180-9240, calliu.barbosa04@aluno.ifce.edu.br ou, Caroline de Goes Sampaio, Diretoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, (85) 3307-4020, carolinesampaio@ifce.edu.br .

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE das 08:00hs às 12:00hs e das 13:00hs às 17:00hs no IFCE Reitoria - R. Jorge Dumar, 1703 - Jardim América, Fortaleza - CE, 60410-426; fone (85) 3401-2332 e-mail: cep@ifce.edu.br

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Ceará**

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, aceito participar

e declaro estar recebendo uma via original deste documento assinada pelo pesquisador e por mim, tendo todas as folhas por nós rubricadas:

Nome do(a) participante:

Contato telefônico (opcional):

e-mail (opcional):

(Assinatura do(a) participante)

Data: ____/____/____.

Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguro ter cumprido as exigências das Resoluções nºs 466, de 12 de dezembro de 2012, e 510, de 07 de abril de 2016, e Norma Operacional nº 001/2013, pelo Conselho Nacional de Saúde (CNS), bem como de complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

Nome do(a) pesquisador(a): Calliu Carneiro Barbosa

Assinatura do(a) pesquisador(a) responsável

Data: ____/____/____.

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Ceará**

**ANEXO D - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO(A)
ESTUDANTE PARA PARTICIPAÇÃO DA PESQUISA**

**HIDROGÊNIO VERDE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE
QUÍMICA: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO A PARTIR DA EDUCAÇÃO CTSA**

CALLIU CARNEIRO BARBOSA E CAROLINE DE GOES SAMPAIO

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PGECM) do Instituto Federal do Ceará – *Campus* Fortaleza. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), visa assegurar seus direitos como participante e é elaborado em duas vias, uma que deverá ficar com você e outra com o pesquisador responsável.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador responsável. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento da pesquisa. Os pesquisadores esclarecem que não serão feitas filmagens e/ou gravações durante a pesquisa.

Justificativa e objetivos:

Este estudo tem o objetivo de analisar uma estratégia de ensino para a formação inicial de professores do curso de licenciatura em Química, utilizando como ferramenta, o hidrogênio verde, incorporando aspectos científicos, sociais, tecnológicos e ambientais ligados a essa fonte de energia renovável. A perspectiva de ensino em uma abordagem de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente visa compreender os impactos científicos e tecnológicos (C&T) na esfera social e, por conseguinte, as mudanças ambientais acarretadas. O crescimento incessante da economia global, um cenário de tensões geopolíticas agudas e as reservas limitadas de combustíveis fósseis, juntamente com a eminente preocupação em relação a sustentabilidade e impactos ambientais, apontam para a necessidade do desenvolvimento de novas fontes energéticas, mitigando emissões de carbono para atmosfera, que corroboram sobremaneira, para avanços nas pesquisas neste campo. Desse modo, apresenta-se, coadunando estes argumentos, a proposta de aplicar uma sequência didática baseada pautada na abordagem CTSA e estruturada nos três momentos pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Penambuco (2018), em turmas da modalidade superior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), presentes na região metropolitana de Fortaleza e avaliar os resultados desta experiência.

Procedimentos:

Participando do estudo você está sendo convidado a aprender assuntos de Química, particularmente através da proposta de ensino contextualizado sobre o Hidrogênio Verde (H₂V), bem como a responder cinco (05) questionários que, após entregues, deverão ser preenchidos cada um deles. Os questionários I e II serão preenchidos em um mesmo dia em até uma (01) hora contínua (esse tempo poderá ser estendido por mais uma hora contínua conforme a necessidade do participante).

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



O questionário III, terá duas aplicações, em dois momentos distintos (em dias intercalados), como pré-teste e pós-teste em até duas (02) horas contínuas para o seu

preenchimento (tempo que poderá ser estendido por mais duas horas contínuas conforme a necessidade do participante).

O questionário IV e V, serão aplicados em dias intercalados em até (02) horas contínuas para o preenchimento de **cada um** deles (tempo que poderá ser estendido por mais duas horas contínuas conforme a necessidade do participante).

Estes questionários são:

Questionário I: Perfil socioeconômico dos participantes da pesquisa (contendo quinze (15) questões de múltipla escolha);

Questionário II: Frequência das percepções dos licenciandos em Química (contendo vinte (20) questões de múltipla escolha);

Questionário III: Teste de alfabetização científica simplificado e adaptado ao contexto do projeto de pesquisa – TACB-S-A (contendo cinquenta e sete (57) assertivas para a marcação de verdadeiro (V), ou falso (F));

Questionário IV: Qualitativo das opiniões discentes sobre CTSA, Alfabetização Científica e Hidrogênio Verde (contendo dez (10) questões escritas subjetivas);

Questionário V: Aprendizagem desenvolvida em decorrência do estudo (contendo cinco (04) questões escritas subjetivas).

A proposta consistirá em aulas elaboradas a partir do viés das energias renováveis estruturadas nos três momentos pedagógicos – 3MP (Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação), especialmente sobre o hidrogênio verde (H₂V), contendo conteúdos transversais de Química, a elaboração de três (03) relatórios das práticas experimentais realizadas pelos estudantes, um (01) plano de aula e sua respectiva apresentação por equipe. Na pesquisa, haverá cinco (05) etapas: 1. Ambientação do pesquisador responsável e assinatura dos TCLE; 2. Aplicação do questionário I e II para verificação do perfil socioeconômico e a frequência de percepções dos licenciandos; 3. Aplicação do questionário III e IV (prévio); 4. Aulas (teóricas e práticas); 5. Aplicação do questionário III e V (posterior).

Todas as informações coletadas nos questionários serão digitalizadas e armazenadas em um dispositivo eletrônico local dos pesquisadores, podendo, desse modo, ser consultadas a qualquer tempo que o Comitê de Ética do IFCE achar devido. Esses dados serão armazenados em um período de sessenta meses (05 anos), após a aplicação desta pesquisa.

Desconfortos e riscos:

Você **não** deve participar deste estudo se não estiver totalmente confortável e ciente dos conteúdos, postulados teóricos, motivadores da investigação ou qualquer influência que isso poderá implicar a sua personalidade emocional/religiosa ou a qualquer outro parâmetro de sua relevância. Os pesquisadores esclarecem que os riscos, envolvem:

- Desconfortos dos estudantes por não aprenderem o conteúdo estudado. Tal risco, é considerado moderado;
- Possibilidade de constrangimento ao responder os instrumentos de coleta de dados. Este risco é considerado mínimo, porque os questionários foram elaborados e avaliados com rigor ético e moral;
- Medo de não saber responder ou de ser identificado. Este risco é considerado mínimo, porque os pesquisadores asseguram o sigilo, a confiabilidade e imparcialidade neste estudo;
- Estresse. Este risco é considerado mínimo;

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



- Quebra de sigilo. Este risco é considerado mínimo, pois só os pesquisadores e o Comitê de Ética em Pesquisa do IFCE, terão acesso aos dados coletados;
- Cansaço ou vergonha ao responder às perguntas. Este risco é considerado mínimo;

Esta pesquisa também envolve a sua participação em aulas práticas experimentais, você **não** deve participar deste estudo caso sentir algum desconforto dentro das dependências do laboratório de química ou possuir alguma impossibilidade de seguir as orientações dos pesquisadores. Ademais, os pesquisadores esclarecem que os riscos, neste ambiente, envolvem:

- Risco de acidente:

Este risco coloca em perigo a integridade e o bem-estar físico e moral do profissional que trabalha dentro do local. Os maiores riscos estão associados a máquinas e equipamentos que podem causar incêndios e explosões. Acidentes mais comuns: queimaduras, cortes e perfurações. Esse risco é classificado como mínimo, pois não será manuseado diretamente nenhum equipamento dessa natureza.

- Riscos ergonômicos:

Acontecem devido aos esforços repetitivos que prejudicam a postura do profissional, causando lesões graves e que podem afetar a realização de suas atividades laboratoriais. São considerados riscos ergonômicos todas as ações que podem interferir nas características psicofisiológicas do profissional. Os melhores exemplos desses riscos são: levantamento de peso, execução de movimentos repetitivos, trabalho em turnos muito longos e postura incorreta do trabalhador durante a execução de suas funções. Esse risco é classificado como moderado.

- Riscos físicos:

O risco físico pode ser gerado por máquinas e condições físicas inadequadas, tais como: pressões anormais, temperaturas extremas de frio ou calor, ruídos e vibrações, umidade, radiações ionizantes e não ionizantes. Esse risco é classificado como mínimo, pois os sujeitos não serão expostos diretamente a tais condições citadas anteriormente.

- Riscos químicos:

Estão relacionados com a exposição do profissional a agentes ou substâncias químicas na forma líquida, gasosa ou em forma de partículas encontradas no (poeira, mineral e vegetal), podendo penetradas vias respiratórias, pele ou ser ingeridas. Esse risco é classificado com alto, visto que os sujeitos irão manejar reagentes químicos. No entanto, tudo acontecerá com a devida supervisão dos pesquisadores e mediante a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) que serão descritos posteriormente.

- Riscos biológicos:

Está relacionado ao manuseio ou contato com materiais biológicos e/ou animais infectados com agente biológicos nocivos como: bactérias, fungos, vírus e protozoários. Este tipo de risco é responsável por uma série de doenças que podem prejudicar a saúde do profissional. Esse risco é identificado como mínimo, visto que nenhum dos itens descritos acima fazem parte da aula experimental dessa pesquisa. Para evitar os riscos existentes dentro desse ambiente, todos os sujeitos da pesquisa devem seguir as normas técnicas e legais e utilizar os EPIs mais adequados para a proteção contra esses agentes. São indicados para esse tipo de atividade os seguintes EPIs:

- Jaleco ou bata de segurança;
- Luvas descartáveis de nitrílica, borracha ou látex;
- Máscara de proteção respiratória;

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



- Óculos de proteção;

Benefícios:

Proporcionar, pela educação CTSA (Ciência – Tecnologia – Sociedade – Ambiente), uma compreensão ampla, contextualizada e reflexiva dos conteúdos de Química, inerentes ao hidrogênio verde, bem como o desenvolvimento de competências e habilidades práticas voltadas ao funcionamento do arcabouço tecnológico desta fonte energética renovável, contribuindo para capacitação e formação inicial de professores de Química do Instituto Federal de Educação do Ceará – IFCE do *Campus* de Maracanaú.

Acompanhamento e assistência:

Os pesquisadores se comprometem a acompanhar todas as etapas deste estudo, tanto nos encontros presenciais de aplicação, quanto nos momentos não presenciais, por meio dos canais de comunicação informados neste documento.

Em caso de desconforto ou necessidade de assistência por parte dos participantes, os pesquisadores estarão disponíveis para acolher e encaminhar a demanda de forma apropriada, respeitando a autonomia dos participantes. Caso surjam eventos adversos ou situações que demandem suporte especializado, será prestada a devida orientação quanto às possibilidades de atendimento disponíveis, garantindo que os participantes possam acessar os serviços adequados conforme sua necessidade e escolha.

No caso de incidentes durante a pesquisa, como eventual mal-estar ou acidentes no ambiente do estudo, os participantes serão orientados e encaminhados para atendimento de primeiros socorros em unidades de saúde acessíveis, respeitando as normas institucionais e as diretrizes éticas vigentes. Além disso, será garantido ao participante o direito de interromper sua participação na pesquisa a qualquer momento, caso sinta desconforto ou considere necessário.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado.

Ressarcimento e indenização:

Você terá direito ao ressarcimento das despesas diretamente decorrentes de sua participação na pesquisa e à indenização pelos danos resultantes desta, nos termos da Lei.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com os pesquisadores: Calliu Carneiro Barbosa, Diretoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, (85) 98180-9240, calliu.barbosa04@aluno.ifce.edu.br ou, Caroline de Goes Sampaio, Diretoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, (85) 3307-4020, carolinesampaio@ifce.edu.br .

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE das 08:00hs às 12:00hs e das 13:00hs às 17:00hs no IFCE Reitoria - R. Jorge Dumar, 1703 - Jardim América, Fortaleza - CE, 60410-426; fone (85) 3401-2332 e-mail: cep@ifce.edu.br

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Ceará

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, aceito participar

e declaro estar recebendo uma via original deste documento assinada pelo pesquisador e por mim, tendo todas as folhas por nós rubricadas:

Nome do(a) participante:

Contato telefônico (opcional):

e-mail (opcional):

(Assinatura do(a) participante)

Data: ____/____/____.

Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguro ter cumprido as exigências das Resoluções nºs 466, de 12 de dezembro de 2012, e 510, de 07 de abril de 2016, e Norma Operacional nº 001/2013, pelo Conselho Nacional de Saúde (CNS), bem como de complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

Nome do(a) pesquisador(a): Calliu Carneiro Barbosa

Assinatura do(a) pesquisador(a) responsável

Data: ____/____/____.

Rubrica do pesquisador _____

Rubrica do participante _____



ANEXO E – MODELO DE PLANO DE AULA

1. IDENTIFICAÇÃO

Subárea:	Tema:	Aula em nível:
Data: ____ / ____ / <u>2025</u>	Professores(as):	Horário: de ____ às ____

2. PLANO

Objetivos:	Conteúdo Programático:	Recursos:

3. PROCEDIMENTOS

Introdução:	Desenvolvimento:	Conclusão:

4. AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

--

5. INDICAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

--

APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO I: PERFIL SOCIOECONÔMICO DOS DISCENTES PARTICIPANTES DA PESQUISA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
Área de Concentração: Ensino de Química

Pesquisador: Calliu Carneiro Barbosa
Orientadora: Dra. Caroline de Goes Sampaio

1. Gênero:

- a) Masculino.
- b) Feminino.
- c) Outro.
- d) Prefiro não informar.

2. Cor/etnia:

- a) Branco(a).
- b) Negro(a).
- c) Pardo(a).
- d) Amarelo(a).
- e) Indígena.

3. Idade:

- a) 18 a 21 anos.
- b) 22 a 25 anos.
- c) 26 a 29 anos.
- d) 30 anos ou mais.

4. Estado civil:

- a) Solteiro(a).
- b) Casado(a).
- c) União Estável.
- d) Separado(a) / divorciado(a) / desquitado(a).
- e) Viúvo(a).

5. Em que rede de ensino você cursou o Ensino Médio?

- a) Todo em rede pública.
- b) Todo em rede particular.
- c) Maior parte em rede particular.
- d) Maior parte em rede pública.
- e) Outro.

6. Você possui filhos? Quantos?

- a) Não possuo.
- b) Sim, tenho (01) um filho.
- c) Sim, tenho (02) dois filhos.
- d) Sim, tenho (03) três filhos ou mais.

7. Quantas pessoas moram na sua residência? (incluindo você)

- a) Moro sozinho.
- b) Duas pessoas.
- c) Três pessoas.
- d) Quatro pessoas.
- e) Cinco pessoas, ou mais.

8. Você desenvolve alguma atividade remunerada?

- a) Não exerço atividade remunerada.
- b) Sim, sou estagiário, ou bolsista (PIBIC, PIBID, PIBITI, etc).
- d) Sim, sou empregado.
- e) Sim, sou empresário.
- f) Sim, sou autônomo.

9. Qual é a renda mensal de sua família?

- a) Nenhuma renda.
- b) Até (02) dois salários mínimos.
- c) De (02) dois a (05) cinco salários mínimos.
- d) De (05) cinco a (08) oito salários mínimos.
- e) Superior a (08) oito salários mínimos.

10. Qual é a sua participação na vida econômica de sua família?

- a) Você não trabalha e seus gastos são custeados.
- b) Você trabalha e é independente financeiramente.
- c) Você trabalha, mas não é independente financeiramente.
- d) Você trabalha e é responsável pelo sustento da família.

11. Qual é o principal meio de transporte que você utiliza para chegar no IFCE?

- a) Bicicleta, patins, skate, carona, ou transporte de aplicativo
- b) Transporte coletivo (ônibus/metrô)
- c) Transporte próprio (carro/moto)
- d) Outro meio

12. Qual é o PRINCIPAL motivo para você ter escolhido o IFCE?

- a) Gratuidade
- b) Proximidade da minha residência e/ou trabalho
- c) Foi a única onde obtive aprovação
- d) Qualidade/reputação
- e) Outro motivo.

13. Qual é o PRINCIPAL MOTIVO para você ter escolhido o curso de licenciatura em Química?

- a) Vocação.
- b) Influência familiar.
- c) Baixa concorrência para ingresso.
- d) Prestígio social.
- e) Outro motivo.

14. Atualmente você reside no município que cursa graduação?

- a) Sim, estou rescindindo neste município.
- b) Não, minha residência está localizada em Fortaleza.
- c) Não, moro em outro município da região metropolitana de Fortaleza.
- d) Não, moro no interior do Ceará.

15. O que você pretende fazer após se formar?

- a) Trabalhar na área que se formou
- b) Prestar concurso público.
- c) Fazer um curso de pós-graduação, ou aperfeiçoamento.
- d) Procurar outra área de atuação para trabalhar e/ou estudar.
- e) Outra opção, não citada anteriormente.

APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO II: FREQUÊNCIA DAS PERCEPÇÕES DOS LICENCIANDOS EM QUÍMICA



INSTITUTO FEDERAL

Ceará

Campus Fortaleza

PGECM

Programa de Pós-graduação em
Ensino de Ciências e Matemática

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Área de Concentração: Ensino de Química

Pesquisador: Calliu Carneiro Barbosa

Orientadora: Dra. Caroline de Goes Sampaio

APRESENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Prezados estudantes,

Com o objetivo de contribuir para pesquisas em nível de pós-graduação no Instituto Federal do Ceará, solicitamos sua colaboração no preenchimento deste questionário que servirá como subsídio para a elaboração de uma Dissertação do Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal do Ceará – *Campus* Fortaleza. Esclarecemos que todas as informações coletadas permanecerão em sigilo. Desde já, agradecemos!

Este questionário deseja conhecer a frequência com que você aplica os conceitos de energias renováveis, hidrogênio verde, meio ambiente e a abordagem CTSA em suas atividades pedagógicas e práticas educacionais, bem como sobre o currículo vigente do seu curso de licenciatura.

Nome: _____

Data: ____/____/____

Leia com atenção todos os enunciados e as alternativas. Responda, com sinceridade, marcando um (X) em uma das opções que melhor reflete sua frequência de uso. Observe:

EXEMPLO DE QUESTÃO RESPONDIDA

Faço as atividades propostas pelos professores das disciplinas do meu curso.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☒ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	--	---------------------------------

1 – Busco aplicar os conceitos de energias renováveis durante as minhas atividades didáticas.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

2 – Discuto temas relacionados a energias renováveis, por exemplo, sobre o hidrogênio verde, com meus colegas de turma.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

3 – Utilizo a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) para planejar as minhas intervenções e/ou aulas de Química.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

4 – Utilizo experimentos práticos, metodologias inovadoras de ensino e recursos tecnológicos, como por exemplo o aparato de hidrogênio verde, conectando a teoria e a prática, em minhas intervenções e/ou aulas de Química.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

5 – Sinto-me preparado(a) para ensinar, nas minhas futuras aulas de Química e/ou Ciências, sobre as implicações científicas, tecnológicas e sociais das energias renováveis.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

6 – Reflito sobre os impactos sociais, éticos, políticos e ambientais do uso de tecnologias alternativas de energia e sustentabilidade durante as aulas das disciplinas do meu curso de licenciatura.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

7 – Realizo atividades experimentais relacionadas a energias renováveis durante as disciplinas do meu curso de licenciatura em Química.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

8 – Observo no currículo escolar vigente do meu curso de graduação, a dimensão socioambiental, e nas aulas decorrentes das disciplinas, discussões CTSA sobre a temática de energias renováveis.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

9 – Desenvolvo estudos, como: artigos, pesquisas, projetos, resumos, resenhas, interligados ao meio ambiente e a sustentabilidade.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

10 – Sou incentivado(a), por meio da pesquisa, extensão e ensino, a trabalhar dentro da perspectiva CTSA nas aulas de Química.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

11 – A formação oferecida pelo meu curso de graduação, aborda de maneira equilibrada as dimensões do conhecimento pedagógico, científico e cultural.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

12 – Os professores(as) das disciplinas do meu curso de licenciatura, bem como o currículo vigente, contribuem para o desenvolvimento de competências que facilitam a interdisciplinaridade e a aprendizagem cooperativa.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

13 – O meu curso de formação inicial me capacita, como futuro professor(a), a desenvolver atividades que favoreçam a autonomia, no que diz respeito ao meu desenvolvimento pessoal e profissional.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

14 – Tenho interesse pelo autoaperfeiçoamento contínuo e iniciativa na busca de soluções para questões relacionadas com o ensino de Química.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

15 – Sinto que estou sendo preparado(a), para atuar como professor(a)-pesquisador(a) no contexto do ensino de Química.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

16 – Reflito de forma crítica sobre as aulas, cursos e intervenções que ministro, identificando problemas de ensino-aprendizagem.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

17 – Acompanho e compreendo os avanços científico-tecnológicos e educacionais de Química.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

18 – Leio, compreendo e interpreto textos científico-tecnológicos em meu idioma pátrio e estrangeiro (especialmente inglês e/ou espanhol).

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

19 – Trabalho em equipe durante as disciplinas da minha graduação e tenho uma boa compreensão das diversas etapas que compõe uma pesquisa educacional.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

20 – Participo de projetos de intervenção e/ou ações de sustentabilidade socioambiental na minha instituição educacional (IFCE) e/ou na comunidade, com foco na prevenção de riscos, na proteção e preservação do meio ambiente e da saúde humana e na construção de sociedades sustentáveis.

☐ nunca	☐ raramente	☐ às vezes	☐ frequentemente	☐ sempre
--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------------

APÊNDICE III – QUESTIONÁRIO III: TACB-A – TESTE DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA ADAPTADO AO CONTEXTO DA PESQUISA



INSTITUTO FEDERAL

Ceará

Campus Fortaleza

PGECM
Programa de Pós-graduação em
Ensino de Ciências e Matemática

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA Área de Concentração: Ensino de Química

Pesquisador: Calliu Carneiro Barbosa

Orientadora: Dra. Caroline de Goes Sampaio

APRESENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Prezados estudantes,

Com o objetivo de contribuir para pesquisas em nível de pós-graduação no Instituto Federal do Ceará, solicitamos sua colaboração no preenchimento deste questionário que servirá como subsídio para a elaboração de uma Dissertação do Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal do Ceará – *Campus Fortaleza*. Esclarecemos que todas as informações coletadas permanecerão em sigilo. Desde já, agradecemos!

O teste apresenta enunciados do Teste de Alfabetização Científica Básica (TACB) proposto pelos autores, Laugksch e Spargo (1996), e do Teste de Alfabetização Científica Básica Simplificado (TACB-S) proposto por Vizzotto e Mackedanz (2018), além de enunciados adaptados ao contexto educacional deste projeto de pesquisa, correspondentes ao Eixo 4.

Este questionário deseja conhecer nível de alfabetização científica, em relação a conceitos fundamentais da ciência, sobre temas científicos e tecnológicos relevantes, com foco especial em questões ambientais e energias renováveis, como o hidrogênio verde. Promovendo o desenvolvimento de habilidades críticas, reflexivas e informada sobre as demandas contemporâneas de sustentabilidade, para a formação de futuros docentes. O teste será composto por questões de verdadeiro ou falso, que foram agrupadas em quatro (4) eixos estruturantes, são eles:

- Eixo 1: Entendimento dos Conteúdos da Ciência (Descritores: Química, Energia, Atmosfera, Clima, Ensino e Aprendizagem);
- Eixo 2: Entendimento da Natureza da Ciência;
- Eixo 3: Entendimento do Impacto da Ciência e Tecnologia na Sociedade e Ambiente;
- Eixo 4: Entendimento dos Conteúdos Gerais e Específicos da Proposta de Intervenção Didática CTSA.

Os enunciados dos itens estão numerados de 1 à 57. E foram apresentados sem indicar suas fontes de origem, a fim de assegurar a imparcialidade, confiabilidade e a validade do teste.

Nome: _____

Data: ____/____/____

Leia com atenção a descrição, e assinale no campo destinado a resposta, se a afirmação é verdadeira (V), ou falsa (F). Observe:

EXEMPLO DE QUESTÃO RESPONDIDA

Item	Descrição	Resposta
Nº do enunciado	A Química, é a Ciência que estuda a matéria e as suas transformações.	(V)

Eixo 1: Entendimento dos Conteúdos da Ciência (Descritores: Química, Energia, Atmosfera, Clima, Ensino e Aprendizagem)		
Item	Descrição	Resposta
1	Todas as coisas do mundo físico são constituídas por diferentes combinações de cerca de 100 elementos químicos.	()
2	Dependendo da temperatura e pressão, as substâncias podem existir em diferentes estados físicos (por exemplo: sólido, líquido ou gasoso).	()
3	Os oceanos e a atmosfera possuem uma pequena tolerância às alterações causadas pela atividade humana.	()
4	Elementos químicos como carbono, oxigênio, nitrogênio e enxofre, movem-se lentamente através dos solos, oceanos e atmosfera. Ao fazê-lo, os elementos mudam suas combinações químicas.	()
5	Os elementos que compõem as moléculas dos seres vivos são continuamente reciclados.	()
6	A energia, assim como a matéria, ocorre em unidades discretas no nível atômico.	()
7	Sempre que a energia, em um formato ou local, diminui, a energia em outro lugar ou formato aumenta em um montante equivalente.	()
8	Existe um baixo nível de radiação natural no ambiente que nos rodeia.	()
9	O dióxido de carbono foi removido da atmosfera ao longo de milhões de anos. Através da queima de combustíveis como o carvão e o petróleo, o dióxido de carbono passou de volta para a atmosfera, a um ritmo muito mais rápido do que quando foi removido da atmosfera.	()
10	As ideias das pessoas geralmente não influenciam na aprendizagem	()
11	Apenas uma pequena parte da vida na Terra é mantida por transformações de energia a partir do sol.	()
12	O carvão e o petróleo foram formados há milhões de anos.	()
13	A forma como os átomos se conecta é determinada pela disposição dos elétrons no exterior de cada átomo.	()
14	No universo, a energia só aparece em um formato.	()
15	Arranjos de átomos em moléculas não estão relacionados com os diferentes níveis de energia das moléculas.	()
16	As forças eletromagnéticas que atuam entre os átomos são muito mais fortes do que o as forças gravitacionais que atuam entre eles.	()

17	Muito do aprendizado parece ocorrer através da interação de um novo pedaço de informação com um pedaço de informação já existente.	()
18	O clima da Terra mudou muito pouco ao longo dos últimos milhares de anos.	()
19	A atmosfera da Terra não foi alterada pela presença da vida.	()
Eixo 2: Entendimento da Natureza da Ciência		
20	Cedo ou tarde, a validade das afirmações científicas é comprovada através da observação de fenômenos.	()
21	Os cientistas discordam sobre os princípios de raciocínio lógico que conectam as evidências com as conclusões.	()
22	O processo de propor e testar hipóteses não é uma das principais atividades dos cientistas.	()
23	Os cientistas tentam dar sentido aos fenômenos dando explicações para eles. Essas explicações raramente usam princípios científicos atualmente aceitos	()
24	As teorias científicas devem explicar observações adicionais que não foram utilizadas no desenvolvimento das teorias anteriores.	()
25	Os cientistas tentam identificar possíveis vieses no trabalho de outros cientistas	()
26	Ao levar a cabo uma investigação, nenhum cientista deve sentir que ele/ela deve chegar a um determinado resultado.	()
27	A disseminação da informação científica não é importante para o progresso da ciência.	()
28	Os campos científicos como a química e a biologia possuem limites ou fronteiras.	()
29	Ética científica (ou seja, sistema de moral) está preocupada, entre outras coisas, com os possíveis efeitos nocivos da aplicação dos resultados da investigação.	()
Eixo 3: Entendimento do Impacto da Ciência e Tecnologia na Sociedade e Ambiente		
30	Novos instrumentos e técnicas que estão sendo desenvolvidos através da tecnologia pouco contribuem para a pesquisa científica.	()
31	A tecnologia apenas fornece ferramentas para a ciência, raramente fornece motivação e direção para as pesquisas.	()
32	Os efeitos de uma grande quantidade de objetos relativamente simples (por exemplo, fogões solares) podem ser individualmente pequenos. No entanto, estes efeitos podem ser significativos, coletivamente.	()
33	Apesar da grande complexidade dos sistemas tecnológicos modernos, todos os efeitos colaterais de novos projetos tecnológicos são previsíveis.	()
34	Não importa quais precauções sejam tomadas ou quanto dinheiro é investido. Qualquer sistema tecnológico pode falhar.	()
35	As forças sociais e econômicas dentro de um país têm pouca influência sobre quais tecnologias serão desenvolvidas dentro desse país.	()
36	A tecnologia teve pouca influência sobre a natureza da sociedade humana.	()
37	O efeito gerado pelas decisões de um grande número de indivíduos distintos pode influenciar na utilização de tecnologia em larga escala, tanto quanto a pressão realizada pelos governos.	()

Eixo 4: Entendimento dos Conteúdos Gerais e Específicos da Proposta de Intervenção Didática CTSA		
38	No planeta Terra, o hidrogênio é o quarto elemento mais abundante, sendo o mais comum do universo.	()
39	O hidrogênio verde é uma fonte de energia totalmente limpa e isenta de impactos ambientais.	()
40	Uma das rotas de produção do hidrogênio verde é por meio da eletrólise da água (quebra de sua molécula em H ₂ e O ₂), fazendo uso da eletricidade, produzida por uma fonte externa de energia limpa (comumente, eólica ou solar).	()
41	O efeito estufa não é um processo natural em nosso planeta, ocorrendo devido a ação antropogênica da queima de combustíveis fósseis e liberação de dióxido de carbono (CO ₂).	()
42	Toda energia renovável é limpa, mas nem toda energia limpa é renovável.	()
43	O hidrogênio é um gás incolor, contudo é classificado por cores, dependendo rota tecnológica e do tipo de energia envolvida em seu processo de obtenção.	()
44	Eletrolisadores PEM (membrana com troca de prótons) e células à combustível são semelhantes, pois convertem energia química em energia elétrica.	()
45	Atualmente, 99% do hidrogênio usado como combustível é produzido a partir de fontes de energia não-renováveis.	()
46	Em uma pilha comum, o ânodo sofre oxidação, sendo o agente oxidante e o cátodo sofre redução, sendo o agente redutor.	()
47	Em uma pilha, os elétrons são obrigatoriamente transferidos do eletrodo que sofre oxidação para o eletrodo que sofre redução, gerando um fluxo ordenado de elétrons (corrente elétrica).	()
48	Os principais desafios relacionados ao hidrogênio verde, na atualidade, são: seu armazenamento, por se tratar de um gás inflamável, bem como a falta de uma rede ampla de abastecimento dos veículos e seus elevados custos tecnológicos.	()
49	Estima-se que a descarbonização mundial terá que acontecer até 2050, para evitar o aumento da temperatura global, e limitar o aquecimento do planeta a 1,5°C, segundo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).	()
50	No processo de eletrólise da água, o gás hidrogênio é produzido no ânodo, onde ocorre a oxidação. Sendo um processo espontâneo e a energia livre de Gibbs (ΔG) negativa ($\Delta G < 0$).	()

GABARITO

Eixo 1			Eixo 2		Eixo 3		Eixo 4	
1. V	8. V	15. F	20. V	27. F	30. F	37. V	38. V	45. V
2. V	9. V	16. V	21. F	28. F	31. F		39. F	46. F
3. V	10. F	17. V	22. F	29. V	32. V		40. V	47. V
4. V	11. F	18. F	23. F		33. F		41. F	48. V
5. V	12. V	19. F	24. V		34. V		42. V	49. V
6. V	13. V		25. V		35. F		43. V	50. F
7. V	14. F		26. V		36. F		44. F	

**APÊNDICE IV – QUESTIONÁRIO IV: DAS OPINIÕES DISCENTES SOBRE CTSA,
ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E HIDROGÊNIO VERDE**



INSTITUTO FEDERAL

Ceará

Campus Fortaleza

PGECM

Programa de Pós-graduação em
Ensino de Ciências e Matemática

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
Área de Concentração: Ensino de Química**

Pesquisador: Calliu Carneiro Barbosa

Orientadora: Dra. Caroline de Goes Sampaio

Nome: _____

Data: ____/____/____

Leia com atenção os enunciados e responda, com sinceridade, a todos os questionamentos propostos, nas respectivas linhas subsequentes.

Observação: Escreva com letra legível e evite rasuras.

Duração do Questionário: 2h (duas horas).

1. O que, na sua opinião, é Ciência?

2. O que, na sua opinião, é Tecnologia?

3. Na sua opinião, qual é a importância da ciência e da tecnologia (C&T) para a sociedade e o meio ambiente?

4. Para você, qual é o papel da Química como ciência, no desenvolvimento tecnológico, social e ambiental?

5. Segundo Fourez (1994), a Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT), é:

[...] mais do que a aprendizagem de receitas ou mesmo de comportamentos intelectuais, face a ciência e a tecnologia: ela implica uma visão crítica e humanista da forma como as tecnologias (e mesmo as tecnologias intelectuais, que são as ciências) moldam nossa maneira de pensar, de nos organizar e de agir (FOUREZ, 1994, p.26, tradução nossa).

Quais as características você julga importante para que uma pessoa seja considerada alfabetizada cientificamente?

6. Leia o fragmento de texto, transcrito da obra: “Educação e Alfabetização Científica”, escrita por Pedro Demo.

“ao fundo da educação e alfabetização científica está o desafio ingente de mudar os rumos do desenvolvimento do país e da sociedade, tendo como um dos protagonistas mais estratégicos o professor (básico e universitário)” (Demo, 2010, p. 134).

Qual é a sua opinião em relação a esse pensamento? Você concorda, ou discorda? Por quê?

7. Você já ouviu falar sobre o hidrogênio verde (H₂V)? Comente, com suas palavras, o que você sabe sobre o assunto.

8. De que forma, você acredita que o uso de hidrogênio verde (H_2V) pode contribuir para a redução dos impactos ambientais relacionados ao aquecimento global e as mudanças climáticas?

9. Na sua opinião, o hidrogênio verde tem o potencial de se tornar uma fonte de energia amplamente utilizada no futuro? Por quê?

10. Quais benefícios e desafios você identifica, ao inserir conceitos científicos e atributos tecnológicos de energias renováveis, como os de hidrogênio verde (H_2V), em suas práticas pedagógicas?

APÊNDICE V – QUESTIONÁRIO V: APRENDIZAGEM DESENVOLVIDA EM DECORRÊNCIA DO ESTUDO



INSTITUTO FEDERAL

Ceará

Campus Fortaleza

PGECM
Programa de Pós-graduação em
Ensino de Ciências e Matemática

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Área de Concentração: Ensino de Química

Pesquisador: Calliu Carneiro Barbosa

Orientadora: Dra. Caroline de Goes Sampaio

APRESENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Prezados estudantes,

Com o objetivo de contribuir para pesquisas em nível de pós-graduação no Instituto Federal do Ceará, solicitamos sua colaboração no preenchimento deste questionário que servirá como subsídio para a elaboração de uma Dissertação do Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal do Ceará – *Campus* Fortaleza. Esclarecemos que todas as informações coletadas permanecerão em sigilo. Desde já, agradecemos!

Este questionário deseja averiguar os conhecimentos adquiridos durante as aulas desse estudo de caso. Leia com atenção e responda com clareza a todos os questionamentos propostos a seguir:

1. Eletroquímica: pilhas e eletrólise da água.

As mudanças climáticas, causadas principalmente pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa, exigem soluções sustentáveis para a geração de energia. O hidrogênio verde (H_2V), produzido pela eletrólise da água com o uso de energia renovável, é uma alternativa promissora. Esse processo eletroquímico permite obter hidrogênio sem a emissão de poluentes, mas sua viabilidade depende de uma compreensão aprofundada dos princípios de eletroquímica e da eficiência energética.

No ensino de Química, abordar temas como pilhas e eletrólise é essencial para conectar a ciência aos desafios ambientais e tecnológicos atuais, promovendo uma formação cidadã e alinhamento à perspectiva CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente).

Um gerador de hidrogênio verde utiliza a eletrólise da água para produzir gás hidrogênio (H_2) e gás oxigênio (O_2). Durante o processo, são necessários 2 mols de elétrons para gerar 1 mol de H_2 . Considere um sistema que opera com uma corrente elétrica constante de 10,0 A por 5 horas.

a) Quantos mols de H_2 são produzidos nesse período?

(Dado: constante de Faraday, $F = 96.485 \text{ C/mol de elétrons}$)

Expectativa de resposta:

- Cálculo do número de mols de elétrons (n_e):

$$Q = I \cdot t = 10,0 \text{ A} \cdot (5\text{h} \cdot 3600 \text{ s/h}) = 180.000 \text{ C}$$

$$n_e = \frac{Q}{F} = \frac{180.000}{96.485} \approx 1,87 \text{ mol de elétrons}$$

- Relação entre mols de elétrons e mols de H_2 :

Como 2 mols de elétrons produzem 1 mol de H_2 :

$$n_{H_2} = \frac{ne}{2} = \frac{1,87}{2} \approx 0,935 \text{ mol de } H_2$$

b) Calcule o volume de H_2 produzido nas *CNTP* (0°C e 1 atm), considerando que 1 mol de gás ocupa 22,4 L nessas condições.

$$V_{H_2} = n_{H_2} \cdot 22,4 \text{ L/mol} = 0,935 \cdot 22,4 \approx 20,93 \text{ L}$$

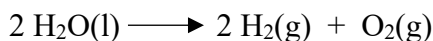
2. Consciência ambiental e aplicações químicas do hidrogênio verde (H_2V)

Reflita e escreva sobre a importância de se utilizar fontes renováveis para gerar a energia elétrica empregada no processo de eletrólise da água, relacionando com os benefícios do hidrogênio verde (H_2V) para a sociedade e o meio ambiente. Depois, responda quais são as três principais aplicações químicas de H_2V ?

Expectativa de resposta: O uso de fontes renováveis, como energia solar ou eólica, é essencial para garantir que a produção de hidrogênio verde seja realmente sustentável, evitando emissões de gases de efeito estufa. Além de oferecer uma solução ambientalmente responsável, o H_2V pode ser utilizado como combustível limpo, contribuindo para a transição energética e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. As três principais aplicações são: A produção de amônia (NH_3) e metanol (CH_3OH), redução de óxidos metálicos como o minério de ferro ($Fe_{(s)}$) e, principalmente, em seu uso em células a combustível.

3. Relação da energia livre de Gibbs (ΔG^0), as variações de entalpia (ΔH^0) e entropia (ΔS^0) padrão com a reação química de produção do gás hidrogênio (H_2)

O hidrogênio verde (H_2V) pode ser produzido por meio da eletrólise da água, um processo no qual a energia elétrica é convertida em energia química. Considere a reação global da eletrólise:



A tabela abaixo fornece dados termodinâmicos para a reação descrita acima:

UNIDADES	VALORES
Entalpia padrão (ΔH^0)	+ 285,8 kJ/mol
Entropia padrão (ΔS^0)	+163 J/(mol·K ⁻¹)
Temperatura	25°C

a) Calcule a energia livre de Gibbs (ΔG^0) para essa reação nas condições padrão e determine se a reação é espontânea. (Dado: $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$)

Expectativa de resposta:**- Conversões:**

$$163 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}^{-1}) \longrightarrow \text{kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}^{-1}) = 163 \div 1000 = 0,163 \text{ kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$25 \text{ }^{\circ}\text{C} \longrightarrow T(\text{K}) = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

- Cálculo da energia livre de Gibbs (ΔG°):

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$$

$$\Delta G^{\circ} = (285,8 \text{ kJ/mol}) - (298\text{K} \cdot 0,163\text{kJ} / (\text{mol} \cdot \text{K}^{-1}))$$

$$\Delta G^{\circ} = 285,8 - 48,574 = + 237,2 \text{ kJ/mol}$$

- Determinação da espontaneidade e justificativa:

O valor positivo de ΔG° indica que a reação não é espontânea em condições padrão. Justificando a necessidade de fornecimento de energia elétrica para que a eletrólise ocorra.

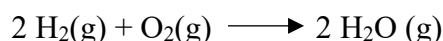
b) Qual gás é produzido em maior quantidade? Justifique sua resposta.

Expectativa de resposta: O hidrogênio (H_2) é produzido em maior quantidade, tanto em número de mols quanto em volume, em relação ao oxigênio (O_2), na eletrólise da água. Isso, pode ser constatado a partir da reação global, onde para cada 2 mols de H_2 produzidos, é gerado 1 mol de O_2 , significando que o volume de gás hidrogênio produzido será o dobro de gás oxigênio.

4. Relação da química atmosférica e o hidrogênio verde (H_2V)

A atmosfera terrestre é composta principalmente por nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), com traços de outros gases, incluindo dióxido de carbono (CO_2) e vapor d'água (H_2O). O uso de hidrogênio verde (H_2V) como combustível é frequentemente apontado como uma alternativa sustentável para mitigar os impactos ambientais causados por combustíveis fósseis.

A reação de combustão do hidrogênio é representada por:



Dado que a queima de combustíveis fósseis libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2), um dos principais gases de efeito estufa. Explique como a substituição de combustíveis fósseis por hidrogênio verde pode contribuir para reduzir o aquecimento global e a concentração de CO_2 na atmosfera.

Expectativa de resposta: A combustão de H_2V não emite CO_2 , o único produto é o vapor d'água. Por esta razão, a substituição de combustíveis fósseis por H_2V reduz as emissões de gases do efeito estufa, contribuindo para a diminuição do aquecimento global e mitigando mudanças climáticas.

APÊNDICE VI – ROTEIRO DAS PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

**INSTITUTO FEDERAL**

Ceará

Campus Fortaleza

PGECEM
 Programa de Pós-graduação em
 Ensino de Ciências e Matemática
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA****Área de Concentração: Ensino de Química****PRÁTICA Nº 01**

MÉTODO / SUBSEÇÃO: DESLOCAMENTO DE HIDROGÊNIO / REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO	
TÍTULO: Produção do gás hidrogênio (H_2), pela reação de metais em meio ácido ou alcalino.	
OBJETIVO: - Demonstrar a produção do gás hidrogênio (H_2) por meio de reações químicas entre metais e soluções ácidas ou alcalinas;	
PESQUISADOR: Calliu Carneiro Barbosa	
INTEGRANTES DA EQUIPE: 	
CURSO: Licenciatura em Química	DISCIPLINA: Didática do Ensino de Química

1. REAGENTES UTILIZADOS

- Hidróxido de Sódio ($NaOH$) em escamas;
- Ácido Clorídrico (HCl - 1 M);
- Raspas de magnésio metálico ($Mg_{(s)}$);
- Papel alumínio;
- Água destilada (H_2O).

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- Luvas, máscaras, óculos e jaleco;
- 02 Erlenmeyers (250 mL);
- 01 Proveta graduada (50 mL);
- 02 Balões de borracha e ligas elásticas;
- 02 Vidros de relógio;
- 02 Espátulas de metal.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**• Hidróxido de Sódio ($NaOH$) + Alumínio Metálico ($Al_{(s)}$)****1. PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO ($NaOH$)**

Pese entre 12 à 15 gramas de hidróxido de sódio ($NaOH$), com a ajuda da espátula de metal e do vidro de relógio. Anote e transfira para o Erlenmeyer a massa de hidróxido de sódio pesada, com bastante cuidado para não haver perdas, lavando o vidro de relógio contendo os resquícios do material com água destilada. Depois, com o auxílio de uma proveta graduada, acrescente 50 mL de água destilada e agite levemente o Erlenmeyer, até a completa dissolução da base fornecida.

2. REAÇÃO PARA PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO (H₂)

Pese entre 02 à 04 gramas de papel alumínio, em uma balança (sugere-se, que a equipe amasse 2 ou 3 bolinhas de papel). Anote a massa e, transfira para o Erlenmeyer, onde está contida a solução de hidróxido de sódio (NaOH). Coloque a bexiga com cuidado na extremidade do Erlenmeyer (gargalo) e prenda com o elástico que foi fornecido. Espere alguns instantes, até que a reação termine.

• Ácido Clorídrico (HCl 1M) + Magnésio metálico (Mg(s))

Com o auxílio de uma proveta graduada, afira 50 mL de ácido clorídrico (HCl 1M) que foi preparado previamente e transfira-o para o Erlenmeyer, cuidadosamente. Depois, pese aproximadamente 5g de magnésio metálico em um vidro de relógio. Transfira-o para o Erlenmeyer e coloque o balão na extremidade (gargalo) e prenda com a liga elástica que será fornecida. Espere alguns instantes, até que a reação termine.

4. DISCUSSÕES

- A) Quais são as equações químicas balanceadas das reações envolvidas nestes dois processos?
 B) Indique a substância oxidada e a substância reduzida, bem como o agente oxidante e o agente redutor das reações escritas no item anterior.
 C) Expliquem, utilizando o conceito de reatividade dos metais, por que metais como zinco (Zn) e magnésio (Mg) conseguem reagir com ácidos diluídos para liberar gás hidrogênio, enquanto metais nobres como ouro (Au) e a prata (Ag) não apresentam essa reatividade?
 D) Calcule a concentração molar da solução de hidróxido de sódio, obtida durante o experimento, bem como o volume aproximado de gás hidrogênio (CNTP), presente dentro das duas bexigas. (Obs: Existe um reagente limitante e outro em excesso).
 E) Na produção de hidrogênio (H₂) como fonte de energia sustentável, o uso de metais reativos pode ser uma alternativa interessante. Entretanto, quais desafios econômicos e ambientais você identifica ao utilizar metais para a produção de gás hidrogênio em larga escala?

PRÁTICA Nº 02

MÉTODO / SUBSEÇÃO:

ELETRÓLISE DA ÁGUA / DECOMPOSIÇÃO DA ÁGUA ATRAVÉS DA ELETRICIDADE

TÍTULO:

Produção do gás hidrogênio (H₂), pela eletrólise da água.

OBJETIVO:

- Demonstrar a produção do gás hidrogênio (H₂) por meio do processo de eletrólise da água, abordando os princípios da eletroquímica, como o funcionamento de células eletrolíticas e a separação de gases, além de destacar a relevância dessa técnica na obtenção de hidrogênio verde como fonte sustentável de energia.

PESQUISADOR:

Calliu Carneiro Barbosa

INTEGRANTES DA EQUIPE:

CURSO: Licenciatura em Química	DISCIPLINA: Didática do Ensino de Química

1. REAGENTES UTILIZADOS

- Cloreto de sódio P.A ($\text{NaCl}_{(s)}$);
- Água destilada ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$);
- Solução etanólica de fenolftaleína 1% (m/v).

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- 01 (uma) fonte de alimentação (pilha de 9V);
- 02 (dois) eletrodos de grafite (1.0 – 2.0 mm);
- 01 (um) fio vermelho e 01 (um) fio preto, para conexão elétrica;
- 01 (um) bquer de 100 mL;
- 01 (uma) espátula de metal;
- 01 (uma) proveta graduada (50 mL);
- 01 (um) bastão de vidro.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

• Montagem do circuito:

- Conecte os fios de alimentação aos eletrodos de grafite. Certifique-se de que o eletrodo ligado ao polo positivo (fio vermelho) é o ânodo, e o conectado ao polo negativo (fio preto) é o cátodo;
- Com a ajuda de uma proveta acrescente 50 mL de água destilada, dentro do bquer de 100mL;
- Pese de 3 à 5g de cloreto de sódio, acrescentando-o a água dissolvendo todo o sal, com o bastão de vidro;
- Mergulhe os dois eletrodos de carbono, na solução salina e observe o início da eletrólise.

• Início da eletrólise e gotejamento do reagente fenolftaleína:

- Observe a formação de bolhas nos eletrodos;
- Goteje de 3-5 gotas da solução de fenolftaleína e observe a mudança de coloração.

4. DISCUSSÕES

- Quais outras substâncias poderiam servir como eletrólitos, além de um sal utilizado, NaCl?
- Quais gases são formados no cátodo e no ânodo, respectivamente? Por quê?
- Por que ao acrescentar a solução de fenolftaleína a coloração muda para a cor violeta? Expliquem.
- Em que consiste o método de eletrólise da água? Expliquem.
- Este método, de eletrólise da água, é o mais utilizado para produção de hidrogênio como combustível, por quê?

PRÁTICA Nº3

MÉTODO / SUBSEÇÃO: Produção do gás oxigênio / Descoloração do permanganato de potássio	
TÍTULO: Produção do gás oxigênio (O ₂), pela reação de oxirredução do permanganato de potássio.	
OBJETIVOS: - Produzir gás oxigênio - Observar uma reação de oxirredução por meio da mudança de cor do permanganato de potássio.	
PESQUISADOR: Calliu Carneiro Barbosa	
INTEGRANTES DA EQUIPE: 	
CURSO: Licenciatura em Química	DISCIPLINA: Didática do Ensino de Química

1. REAGENTES UTILIZADOS

- Permanganato de potássio (KMnO₄);
- Água destilada (H₂O_(l));
- Vinagre (ácido acético - CH₃COOH);
- Água oxigenada (H₂O₂ - peróxido de hidrogênio PA.).

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- 2 Pipetas graduadas de 10 mL;
- 1 Proveta de 50 mL;
- 1 béquer de 100 mL;
- 1 bastão de vidro.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

• Preparação da solução de permanganato, acidificação e reação:

- Pese cerca de 0,1 à 0,25 g de permanganato de potássio em um béquer de 100mL;
- Com a ajuda de uma proveta acrescente 50 mL de água destilada, com auxílio da proveta graduada, dentro do béquer de 100mL;
- Adicione 10 mL de vinagre com auxílio da pipeta;
- Depois adicione 5 mL de peróxido de hidrogênio (PA), com outra pipeta.

4. DISCUSSÕES

A) Descreva as reações balanceadas que ocorreram durante os processos.

B) Por que a solução de permanganato de potássio perde sua coloração violeta ao reagir com água oxigenada em meio ácido?

C) Explique, em termos de transferência de elétrons, o mecanismo redox envolvido na reação entre o permanganato de potássio e o peróxido de hidrogênio em meio ácido, indicando os estados de oxidação do manganês antes e depois da reação.

APÊNDICE VII – MODELO PADRÃO PARA A ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DAS PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

- **Capa** (Integrantes da equipe, título da prática, cidade e ano).
- **Introdução** (Escrever de forma sucinta sobre a temática, trazendo discussões, baseadas na literatura sobre a prática realizada).
- **Objetivo** (Trazer o objetivo da prática).
Observação: Lembrar que o objetivo se faz, inicialmente, com o verbo no infinitivo e indicará a ação referente à aula prática. Exemplo: Produzir hidrogênio a partir da amônia.
- **Materiais e reagentes utilizados** (Vidrarias, equipamentos, substâncias, compostos químicos, etc).
- **Procedimento experimental** (Explicar como foi realizada a prática, etapas, manuseios, processos envolvidos, etc).
- **Resultados e discussões** (Elucidar, através de cálculos e reações, os resultados obtidos durante a prática). Observação: Não esquecer de responder as perguntas do roteiro.
- **Considerações Finais** (Trazer as contribuições dessa prática para o desenvolvimento do saber científico e se os objetivos foram alcançados).
- **Referências** (Quais livros, trabalhos, artigos, dissertações, teses, foram consultados?).
Observação: Seguir a norma NBR 10520/2023 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).