

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO**



**Educação STEAM na promoção do *Design Thinking* e da  
Criatividade dos alunos**

**Pedro Filipe Esteves Vaz Pires**

**Mestrado em Educação**

**Área de Especialidade: Didática das Ciências**

**Dissertação Orientada pela Prof<sup>ª</sup>. Doutora Mónica Luísa Mendes Baptista**

**2024**

# Agradecimentos

Após 26 anos de serviço, como professor de Biologia e Geologia, decidi lançar-me nesta aventura de realizar o presente trabalho de investigação. Assim, ao terminar mais uma etapa da minha formação enquanto docente em constante aprendizagem, com a finalidade de poder contribuir para melhorar a educação em Portugal, nomeadamente no contexto de sala de aula com os meus estimados alunos, quero verdadeiramente agradecer a todos os que, direta ou indiretamente, ao longo destes anos, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos os alunos que se cruzaram comigo ao longo destes anos e que sempre me desafiaram a ser melhor professor e a não cristalizar no meu saber.

À Professora Mónica Baptista, pela orientação, revisão, ideias, críticas e sugestões fornecidas que melhoraram em muito este trabalho.

À Ana Rita, por todo o tempo dispensado, por todas as reflexões conjuntas, discussões e trocas de ideias que se traduziram num enorme apoio e ajuda neste caminho, por vezes solitário e com tantas encruzilhadas.

Ao grupo formado pela Professora Teresa, Josina, Luíz e José que, numa fase inicial, muito me ajudou, com as suas críticas e sugestões, a desbravar os caminhos da escrita da tese.

À Rita e ao Luís, os melhores colegas de trabalho com quem lecionei a disciplina de Saber +, que aceitaram de imediato o desafio que lhes lancei de aplicarmos uma sequência didática STEAM nas nossas aulas e que tornaram possível este trabalho com o seu entusiasmo, paixão e interajuda.

Aos melhores alunos de Portugal, os alunos do 12<sup>o</sup>C de uma escola algures nesta Lisboa, que participaram nesta investigação com a sua irreverência característica e com o seu trabalho.

Ao Rui, ao Mário e ao Vítor por todo o seu apoio, incentivo e ajuda. Por acreditarem em mim, estimularem a minha caminhada e não permitirem o baixar de braços.

À Beatriz, ao Rafael e ao Hugo, por todas as dicas e apoio em termos informáticos.

Ao meu querido pai por todo o apoio, força e compreensão ao longo destes tempos.

À minha família, à minha mulher Rosa, às minhas filhas Inês e Sara, pelo amor, compreensão e presença, pelo tempo que não lhes dediquei, por acreditarem sempre em mim e por me ajudarem nas tarefas de revisão, formatação e resolução de problemas informáticos, principalmente a minha Inês.

# Resumo

A Educação STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*) pode constituir-se como um “referencial”, no qual o aluno tem um papel ativo e central na sua aprendizagem, com o recurso a práticas como o *Design Thinking*, e onde são integradas as várias disciplinas envolvidas, nomeadamente as Artes.

O presente trabalho pretendeu responder ao problema de investigação: de que modo uma sequência didática STEAM, sobre a avaliação da qualidade do ar, em termos de concentração de dióxido de carbono, promove o processo de *Design Thinking* e conduz ao desenvolvimento da criatividade dos alunos? Neste âmbito, com a sequência didática implementada, os alunos foram desafiados a conceber um protótipo para medir a concentração de CO<sub>2</sub>, em que o *Design Thinking* funcionou como o eixo organizador.

Esta investigação seguiu uma metodologia qualitativa e recorreu a vários instrumentos de recolha de dados, designadamente registos vídeo, fotografias, produções escritas e notas de campo obtidos durante a implementação da sequência didática e, posteriormente, com a análise dos protótipos finais.

Os resultados mostraram que os diferentes grupos concretizaram o objetivo pretendido tendo, na maior parte das vezes, solucionado os problemas encontrados. Verificou-se que cada grupo de alunos percorreu as etapas de *Design Thinking* de variadas formas e com diferente número de ciclos, que tornou este processo *Design Thinking* característico e único. Constatou-se, também, que com esta sequência didática STEAM os diferentes grupos desenvolveram a criatividade, em diferentes níveis, bem como competências essenciais e transversais às diferentes disciplinas. Salvaguardando desde já a impossibilidade de generalização, uma vez que são poucos os dados, parece existir uma relação entre um percurso de *Design Thinking* mais complexo, com maior número de ciclos, e um maior desenvolvimento da criatividade. Deste modo, com este trabalho reforça-se a importância na aposta na Educação STEAM como forma de promoção do pensamento criativo e crítico, da resolução de problemas e da capacidade de trabalho colaborativo.

**Palavras-chave:** Educação STEAM; *Design Thinking*; criatividade; ambiente.

# Abstract

STEAM Education (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) can be seen as a ‘benchmark’ in which the student has an active and central role in their learning, using practices such as Design Thinking and integrating the various disciplines involved, particularly the Arts.

The aim of this study was to answer the research problem: how does a STEAM didactic sequence on assessing air quality in terms of carbon dioxide concentration promote the Design Thinking process and lead to the development of students' creativity? In this context, with the didactic sequence implemented, the students were challenged to design a prototype to measure CO<sub>2</sub> concentration, with Design Thinking acting as the organising axis.

This research followed a qualitative methodology and used various data collection tools, including video recordings, photographs, written productions and field notes obtained during the implementation of the didactic sequence and, later, by analysing the final prototypes.

The results showed that the different groups achieved the intended objective and, for the most part, solved the problems encountered. It was found that each group of students went through the Design Thinking stages in different ways and with different numbers of cycles, which made this Design Thinking process characteristic and unique. It was also noted that with this STEAM didactic sequence the different groups developed creativity at different levels, as well as essential skills that cut across the different disciplines. While it is impossible to generalize, since the data is scarce, there seems to be a relationship between a more complex Design Thinking path, with a greater number of cycles, and a greater development of creativity. This work therefore reinforces the importance of investing in STEAM education as a way of promoting critical and creative thinking, problem-solving and the ability to work collaboratively.

**Keywords:** STEAM education; Design Thinking; creativity; environment.

# Índice

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>NOTA INTRODUTÓRIA</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. CAPÍTULO</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. CAPÍTULO</b> .....	<b>5</b>
<b>ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1. ORIGEM DA EDUCAÇÃO STEM .....	5
2.2. SIGNIFICADOS DE EDUCAÇÃO STEM.....	8
<i>Integração STEM (I-STEM)</i> .....	9
2.2.1. Modelos de Educação STEM Integrada e formas de implementação .....	13
2.3. DO STEM AO STEAM .....	18
2.4. APRENDIZAGEM BASEADA NO DESIGN E O DESIGN THINKING .....	22
2.5. CRIATIVIDADE E EDUCAÇÃO STEAM.....	26
2.6. VANTAGENS, LIMITAÇÕES E CRÍTICAS DA EDUCAÇÃO STE(A)M.....	31
<b>3. CAPÍTULO</b> .....	<b>36</b>
<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
3.1. FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA .....	36
3.2. PARTICIPANTES .....	37
3.2.1. A turma .....	37
3.3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	38
3.3.1. Enquadramento curricular.....	38
3.3.2. Apresentação e descrição da sequência didática.....	41
3.4. RECOLHA DE DADOS .....	46
3.5. ANÁLISE DOS DADOS .....	48
3.6. QUESTÕES ÉTICAS .....	54
<b>4. CAPÍTULO</b> .....	<b>55</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>

4.1	DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE <i>DESIGN THINKING</i> .....	55
	<i>Grupo 1</i> .....	58
	<i>Grupo 2</i> .....	65
	<i>Grupo 3</i> .....	73
	<i>Grupo 4</i> .....	78
	<i>Grupo 5</i> .....	86
4.2.	CONHECIMENTO DA CRIATIVIDADE E RELAÇÃO COM O PROCESSO DE <i>DESIGN THINKING</i> DOS ALUNOS .....	91
	4.2.1 - <i>Incorporação de ideias em soluções</i> .....	94
	4.2.2 – <i>Conexão de conceitos e exploração de soluções - Act</i> .....	96
	4.2.3 – <i>Ambiente para o desenvolvimento da criatividade - Flow</i> .....	98
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO.....</b>	<b>103</b>
	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>103</b>
	5.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	103
	5.2. CONCLUSÃO .....	109
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
	<b>ANEXO III.....</b>	<b>119</b>
	<b>PLANIFICAÇÃO DAS AULAS SABER + .....</b>	<b>120</b>
	1ª E 2ª AULAS .....	120
	3ª E 4ª AULAS .....	123
	5ª E 6ª AULAS E 7ª E 8ª AULAS .....	125
	DURANTE A SEMANA, ATÉ 12 DE ABRIL 2024.....	126
	9ª E 10ª AULAS E 11ª E 12ª AULAS .....	127

# Índice de figuras

Figura 2.1- Quadro teórico das principais características do ensino STEM integrado, adaptado de Honey et al. (2014).....	12
Figura 2.2 Conhecimento e práticas investigativas partilhadas pelas disciplinas de Matemática, Ciência e Tecnologia, adaptado de Quinn et al. (2020).....	14
Figura 2.3 Modelo convergente para a natureza das STEM, adaptado de Quinn et al. (2020)....	15
Figura 2.4 - Quadro teórico para práticas de ensino em STEM integradas, adaptado de Thibaut et al. (2018) .....	17
Figura 2.5 - Pirâmide STΣ@M. Modelo adaptado de Yakman (2008), por Filipe (2023) na sua tese de mestrado apresentada à Universidade de Lisboa intitulada: Educação STEAM na aprendizagem da energia: um trabalho com alunos do 10º ano. ....	20
Figura 2.6 - A noção das Artes na Educação STEAM, adaptado de Christopoulos et al. (2023)	21
Figura 2.7 - Quadro conceptual do processo de <i>design</i> de Engenharia adaptado de English et al. (2015) .....	25
Figura 2.8 - Tipos de criatividade promovidos pelos projetos STEAM, baseado em Lage-Gómez et al. (2024) .....	29
Figura 2.9 - Facetas do pensamento criativo avaliadas no PISA 2022, retirada de IAVE (2024)	30
Figura 3.1 - Etapas do <i>Design Thinking</i> baseadas no modelo de English & King (2015).....	50
Figura 4.1 - Etapas e número de ciclos de <i>Design Thinking</i> , percorridas pelos diferentes grupos .....	56
Figura 4.2 - Produção escrita elaborada pelos alunos do grupo 1 com a sistematização das principais ideias recolhidas no âmbito da imersão na problemáticas em estudo. ....	58
Figura 4.3 - Produção escrita dos alunos que ilustra o modo como a ocupação e ventilação afetam a concentração de CO <sub>2</sub> .....	59
Figura 4.4 - Fotografias dos elementos do grupo 1 na exploração de opções tecnológicas, buzzer e semáforo, para monitorizar os níveis de CO <sub>2</sub> .....	60
Figura 4.5 - Produção escrita do grupo 1 fruto do <i>Brainstorming</i> inicial. ....	60
Figura 4.6 - Produção escrita do grupo 1 fruto de novo <i>Brainstorming</i> . ....	62
Figura 4.7 - Produção escrita dos alunos do grupo 1 indicando os valores de concentração de CO <sub>2</sub> [em ppm], fruto da pesquisa efetuada. ....	63

Figura 4.8 – Fotografia dos elementos do grupo 1 na construção do protótipo. ....	63
Figura 4.9 – Fotografia do protótipo do grupo 1 com o sensor de CO <sub>2</sub> visível .....	64
Figura 4.10 – Fotografias do protótipo do grupo 1 com o sensor de CO <sub>2</sub> visível, vista lateral, e com o sensor guardado dentro da caixa de Cd, em vista traseira. ....	65
Figura 4.11 - Produção escrita dos alunos do grupo 2. ....	66
Figura 4.12 - Fotografias dos elementos do grupo 2 na exploração de opções tecnológicas, buzzer, semáforo e sensor de CO <sub>2</sub> .....	66
Figura 4.13 - Produção escrita dos alunos do grupo 2, fruto do <i>Brainstorming</i> inicial, com a representação de um carro a transportar o planeta Terra. ....	67
Figura 4.14 – Produção escrita dos alunos do grupo 2, idealizando o protótipo. ....	68
Figura 4.15 – Produções escritas dos alunos do grupo 2 nas quais idealizam e planificam possibilidades de criação de um relâmpago, por forma a sustentar a nuvem.....	69
Figura 4.16 – Fotografias de algumas etapas do trabalho de prototipagem desenvolvidas pelos elementos do grupo 2. ....	69
Figura 4.17– Sequência de fotografias que ilustra a testagem da concentração de CO <sub>2</sub> usando uma lamparina e copo de precipitação para produzir e reter este gás. ....	70
Figura 4.18– Fotografias do protótipo do grupo 2 em várias perspetivas.....	72
Figura 4.19– Fotografias da exploração dos componentes tecnológicos, buzzer, semáforo e sensor de CO <sub>2</sub> por parte do grupo 3, que também se encontram no registo vídeo. ....	73
Figura 4.20– Produção escrita dos alunos do grupo 3.....	74
Figura 4.21– Produção escrita dos alunos do grupo 3 com várias perspetivas do protótipo.....	74
Figura 4.22– Fotografia dos elementos do grupo 3 a construir o protótipo. ....	75
Figura 4.23– Fotografias do protótipo final do grupo 3 em várias perspetivas. ....	76
Figura 4.24 – Captura de imagens do registo vídeo dos alunos do grupo 3, onde se evidencia a testagem do protótipo em diferentes locais. ....	77
Figura 4.25– Produção escrita dos alunos do grupo 4 como resposta ao problema inicial.....	78
Figura 4.26– Produção escrita dos alunos do grupo 4 fruto do <i>brainstorming</i> inicial. ....	79
Figura 4.27– Fotografias do processo de planeamento e planificação do grupo 4 .....	80
Figura 4.28– Fotografias do processo de prototipagem do grupo 4.....	81
Figura 4.29– Fotografia do protótipo do grupo 4 com a introdução do botão de ligar/desligar...83	

Figura 4.30– Fotografia do protótipo do grupo 4 com a introdução da fita. ....	84
Figura 4.31– Produção escrita dos alunos do grupo 5 sistematizando a informação recolhida sobre a problemática em estudo. ....	86
Figura 4.32- Fotografias dos elementos do grupo 5 na exploração de opções tecnológicas, buzzer, semáforo e sensor de CO <sub>2</sub> . ....	87
Figura 4.33 – Produções escritas dos alunos do grupo 5 referente à fase de planeamento. ....	88
Figura 4.34 – Fotografias do processo de prototipagem por elementos do grupo 5 e protótipo final. ....	89
Figura 4.35– Fotografias do protótipo final do grupo 5 a efetuar as medições de CO <sub>2</sub> com a presença da luz vermelha no lado direito da estufa, sendo visível os LEDs a iluminar o interior da estufa. ....	91
Figura 5.1 - Etapas do <i>Design Thinking</i> dos grupos 5, 1 e 2. ....	105
Figura 5.2 – Relação entre as diferentes etapas de <i>Design Thinking</i> . ....	105

# Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Competências essenciais transversais e específicas nas diferentes disciplinas envolvidas no Saber +. ....	42
Tabela 3.2– Planificação da sequência didática sintetizada .....	44
Tabela 3.3 - Identificação e descrição das categorias de análise para processo de <i>Design Thinking</i> .....	50
Tabela 3.4 Tabela com as dimensões de evidências criativas adaptada de Filipe et al. (2024)....	52
Tabela 4.1 - Exemplos que conduziram à atribuição dos níveis de classificação da criatividade dos alunos, relativamente à dimensão I, tendo por base o apresentado e descrito na secção relativa ao <i>Design Thinking</i> (secção 4.1.) .....	94
Tabela 4.2 - Exemplos que conduziram ao posicionamento dos diferentes grupos nas diferentes menções relativas à classificação da criatividade, relativamente às dimensões IIa) e IIb), tendo por base o apresentado e descrito na secção relativa ao <i>Design Thinking</i> (secção 4.1.) .....	96
Tabela 4.3 - Posição dos diferentes grupos tendo em conta a dimensão de evidência criativa considerada. ....	99

# Índice de gráficos

Gráfico 4.1 - Classificação obtida em cada dimensão de evidência criativa por grupo de alunos. .....	92
Gráfico 4.2 - Classificação, por grupo de trabalho, obtida em cada uma das dimensões de evidências criativas. A frequência absoluta refere-se ao número de dimensões de evidências criativas consideradas (total de 6). .....	93
Gráfico 4.3 - Classificação obtida, por cada grupo de trabalho nas dimensões de evidências criativas I e II ( <i>Act</i> ).....	98
Gráfico 4.4 - Classificação obtida por cada grupo de trabalho nas dimensões III e IV ( <i>Flow</i> ) .	102

# Lista de siglas e abreviaturas

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

DGE – Direção Geral de Educação

LBSE – Lei de Bases do Sistema Educativo Português

NSF – (da língua inglesa) *National Science Foundation* (Fundação Nacional da Ciência)

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PASEO – Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória

PCA – Projeto Curricular de Agrupamento

PEA – Projeto Educativo de Agrupamento

PISA - (da língua inglesa) *Programme for International Student Assessment* (programa para avaliação internacional dos alunos)

STEM ou SMET – (da língua inglesa) *Science, Technology, Engineering e Mathematics* (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática)

STEAM – (da língua inglesa) *Science, Technology, Engineering, Arts e Mathematics* (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática)

## Nota Introdutória

O termo STE(A)M vai ser utilizado nos capítulos e secções seguintes quando se referir a características ou potencialidades descritas na literatura para a Educação STEM, mas que permanecem válidas para a Educação STEAM.

---

# 1. Capítulo

---

## Introdução

Nos dias de hoje, num mundo em constante transformação e sistemática mudança, urge educar e formar cidadãos conscientes e aptos, através da implementação de estratégias educativas abrangentes, criativas, inter e transdisciplinares, promotoras do pensamento crítico e criativo, numa perspetiva de resolução de problemas. Neste contexto, em que rapidamente surgem e desaparecem profissões, é fundamental contribuir para auxiliar os estudantes a pensar “fora da caixa”, investir na formação integral dos mesmos e contribuir para a aquisição de ferramentas que os consigam auxiliar em desafios complexos que exigem soluções inovadoras e criativas (Yakman & Lee, 2012; Li et al., 2019). Importa resolver problemas, dar sentido à informação e saber reunir e avaliar informação para tomar decisões. As abordagens pedagógicas tradicionais, focadas em disciplinas isoladas, por vezes promovendo apenas o ensino por receção, têm-se mostrado limitadas na promoção de competências como a criatividade, o pensamento crítico e a resolução de problemas. O relatório *Trends Shaping Education* (OCDE, 2022) alerta para o papel fundamental da educação, segundo o qual os sistemas de ensino devem preparar os alunos para novas formas de viver e trabalhar e, principalmente, para que possam encontrar respostas para desafios ainda não conhecidos. Este relatório dedica um capítulo à educação ao longo da vida que deve contribuir para um aumento da consciência ambiental e para o desenvolvimento de competências técnicas e pensamento crítico.

Nesta linha de pensamento, o recente relatório do PISA (*Programme for International Student Assessment*) da OCDE destaca a necessidade de fomentar o pensamento criativo e crítico e de preparar os estudantes para lidar com situações de resolução de problemas em contextos reais. Em particular, o estudo PISA aplicado em 2022, que incluiu uma avaliação específica sobre o pensamento criativo, sublinhou a importância de desenvolver nos alunos a capacidade de encontrar soluções inovadoras, um aspeto essencial para o futuro mercado de trabalho.

É neste contexto que a Educação STEAM, acrónimo de Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, pode constituir uma poderosa “ferramenta” para os sistemas educativos, através da implementação de novas práticas educativas, especialmente para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Jamali et al., 2023). A Educação STEAM pressupõe uma abordagem inter e transdisciplinar destas áreas do saber, combatendo o isolamento e estagnidade das mesmas, propondo uma verdadeira integração dos conhecimentos não só entre

si como com o mundo em que vivemos, através do estabelecimento de pontes. Segundo Breiner et al. (2012), pais, famílias e toda a sociedade em geral devem compreender que a sociedade mudou. A escola já não é igual ao que era uma vez que existem diferentes necessidades e oportunidades.

Através da promoção da integração de várias áreas do conhecimento, a educação STEAM surge como uma possível resposta para a formação de alunos capazes de responder de forma criativa e eficaz aos desafios do século XXI. Pretende-se que uma educação eficaz, com atividades e projetos STE(A)M, incentive os alunos a estabelecer ligações entre duas ou mais disciplinas, o que se pode traduzir numa melhoria da aprendizagem, e consequente transferência, assim como pelo aumento do interesse e envolvimento dos alunos (English, 2016). Sanders (2012), no sentido de consubstanciar e alicerçar a Educação STE(A)M, considera que, face ao papel fundamental que têm, e terão, no nosso bem-estar, a Tecnologia e a Engenharia, a Ciência e Matemática, disciplinas tendencialmente isoladas, podem e devem ser substituídas por STE(A)M.

Atualmente a Educação STE(A)M prevê a integração, por via da articulação curricular, das áreas disciplinares que compõem o acrónimo, a promoção de projetos e atividades ligadas ao campo profissional STE(A)M, a utilização de sequência didáticas STE(A)M e a inclusão do *Design Thinking* (Baptista, 2023). Para além disso apela ao desenvolvimento de competências transversais às diferentes disciplinas, nomeadamente o conhecimento substantivo e processual (Yakman, 2008), assim como contribui para o desenvolvimento das estruturas cognitivas dos alunos (Thuneberg et al., 2018). Associado à Educação STEAM surge o conceito de literacia STE(A)M, definida como a capacidade de identificar e aplicar conteúdos das áreas de conhecimento envolvidas para compreender e resolver situações problemáticas que não podem ser perfeitamente compreendidas a partir de uma abordagem simplesmente disciplinar (Martín-Páez et al., 2019).

A ênfase na promoção de competências interdisciplinares e transversais às diferentes áreas do saber, alinha-se diretamente com as finalidades estabelecidas no Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória (PASEO)(Direção Geral da Educação, 2017). Para tal, é fundamental promover o pensamento crítico e criativo, a resolução de problemas e a capacidade de trabalho colaborativo, que são centrais numa abordagem STEAM, nomeadamente com o recurso ao *Design Thinking*, com foco na resolução de problemas, que promovem a empatia e imersão em novas temáticas, o *brainstorming*, a prototipagem, a avaliação e reflexão crítica sobre o protótipo e sobre o processo desenvolvido numa procura de melhoria sistemática (English & King, 2015). Assim, promover uma educação que integre esta prática, e promova o desenvolvimento destas competências, é essencial para preparar os alunos para o seu papel ativo e responsável na sociedade contemporânea. A integração das áreas STEAM, para além de

promover domínio técnico específico de cada uma das áreas, contribui para o desenvolvimento da capacidade de aplicar o conhecimento em contextos reais, de forma criativa (Yakman, 2008).

A implementação de uma sequência didática STEAM, com alunos do 12.º ano de escolaridade, no âmbito da disciplina Saber +, disciplina que integra as disciplinas Geologia, Oficina de Artes e Aplicações Informáticas, permite colocar em prática o preconizado neste tipo de ensino, e está enquadrada no tema da disciplina de Geologia “A Terra ontem, hoje e amanhã” (Direção-Geral da Educação, 2018 p. 8). Esta abordagem possibilita a exploração do potencial interdisciplinar das aprendizagens, incentivando os alunos a aplicar conhecimentos científicos, artísticos e tecnológicos na resolução de problemas reais. Desafia os alunos a interpretar processos naturais e desenvolver competências científicas, essenciais para o pensamento analítico, mobilizar o conhecimento substantivo, epistemológico e processual, nomeadamente a definir problemas, formular hipóteses e testar soluções para problemas (DGE, 2018), aplicar a lógica computacional e o pensamento sistemático, indispensáveis à resolução de problemas digitais e estimular a criatividade através da expressão visual e do *design*, fomentando a inovação, um dos pilares do *Design Thinking*.

Neste contexto, a presente investigação, realizada no âmbito do Mestrado em Educação na especialidade de Didática das Ciências, tem como finalidade compreender como os alunos reagem a uma abordagem que combina múltiplas disciplinas, estimula a criatividade e a inovação na resolução de problemas e visa responder ao seguinte problema: de que modo uma sequência didática STEAM, sobre a avaliação da qualidade do ar, em termos de concentração de dióxido de carbono, promove o processo de *Design Thinking* e conduz ao desenvolvimento da criatividade?

Para clarificar o propósito do estudo foram definidos dois objetivos de investigação:

O1 - Analisar o desenvolvimento do processo de *Design Thinking* dos alunos quando envolvidos numa sequência didática STEAM;

O2 - Conhecer a criatividade dos alunos e a sua relação com o processo de *Design Thinking*, quando envolvidos numa sequência didática STEAM.

Os objetivos anteriormente referidos, são respondidos com recurso a instrumentos de investigação qualitativa, nomeadamente o registo vídeo, registo escrito dos alunos, registo fotográfico e as notas de campo de investigador não participante.

Este estudo pretende, assim, contribuir para a compreensão do modo como a Educação STEAM, ancorada e aliada ao processo de *Design Thinking*, pode ser uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento da criatividade.

## **Organização do trabalho**

O presente trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos, sendo o primeiro a introdução, onde se apresenta também a organização do trabalho. Posteriormente, é efetuado o enquadramento teórico (capítulo 2), apresentada a metodologia, com a fundamentação metodológica, o enquadramento curricular, apresentação dos participantes e da sequência didática, definição dos instrumentos de recolha de dados e tratamento dos mesmos (capítulo 3). Os resultados são apresentados no capítulo 4 ao que se segue o último capítulo, discussão dos resultados e conclusões (capítulo 5). No final do trabalho encontram-se ainda as referências bibliográficas e os anexos.

---

## 2. Capítulo

---

### Enquadramento teórico

O objetivo deste capítulo é realizar o enquadramento teórico sobre a Educação STEM e seus significados, nomeadamente modelos e modos de implementação. Pretende ainda explorar a literatura sobre a origem do STEAM, a importância do *design* e do *Design Thinking* para a aprendizagem e a relevância da Educação STEAM na promoção da criatividade. No final deste capítulo, é apresentada uma secção dedicada às vantagens, limitações e críticas da Educação STEAM.

#### 2.1. Origem da Educação STEM

“Faltavam dois minutos para as sete e meia da tarde (hora de Lisboa) do dia 4 de outubro de 1957, quando foi lançado, do cosmódromo de Baikonur, no Cazaquistão, o foguete que transportava o primeiro satélite artificial da História. Chamava-se Sputnik - que significa simplesmente “satélite” em russo - e entrou em órbita após atingir a altitude de 223 km” (RTP ensina - <https://ensina.rtp.pt/artigo/lancamento-do-sputnik-o-1o-satelite-artificial/>)

Nos anos 50, ao inaugurar a era espacial e desencadeada a corrida ao espaço entre os EUA e a ex-URSS, o lançamento do Sputnik, foi como que, a pedra de toque para impulsionar a aposta nas carreiras científicas e tecnológicas. Este acontecimento foi fundamental para a sensibilização, e mobilização para a aceitação da sociedade em geral, da importância da Ciência e da Tecnologia. Constituiu-se a ideia que uma grande aposta no desenvolvimento científico conduziria a um maior desenvolvimento tecnológico, o que se traduziria num maior desenvolvimento económico e consequentemente um melhor bem-estar social (Auler et al, 2001).

No entanto, nos anos 70, começou a emergir um olhar crítico para estas áreas, Ciência e Tecnologia, em consequência da sua má utilização, nomeadamente ao nível do armamento, e do impacto da sua utilização no ambiente, despoletando o movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), devolvendo à sociedade uma maior voz no que concerne às opções políticas sobre o desenvolvimento e financiamento de determinados projetos científicos e/ou tecnológicos (Auler et al, 2001).

Durante as décadas de setenta e oitenta do século passado, nos EUA, a visão CTS passou para o campo educativo tendo ocorrido a reformulação curricular que culminou com a introdução

nos currículos escolares, de forma explícita, do conceito CTS, no qual se enfatizava a relação biunívoca entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, possibilitando a compreensão da Ciência por todos os cidadãos, de modo a formar cidadãos alfabetizados científica e tecnologicamente capazes de tomar decisões informadas e desenvolver atitudes responsáveis (Auler, et al, 2001). Assim, nesta preocupação em contribuir para a literacia científica de todos os cidadãos, várias organizações refletiram e apelaram à necessidade de repensar e inovar as práticas de ensino nestas áreas. O conceito CTS foi, posteriormente, ampliado conduzindo ao conceito CTS-A, salientando que a sustentabilidade ambiental deve ser tida em consideração nesta “tricotomia” entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Em termos educativos e políticos esta ideia não teve os resultados esperados e, entre o final do século XX e o início do século XXI o conceito inicial STEM começou a emergir.

No início da década de 1990, nos EUA, de modo a enfrentar desafios económicos e sociais à época, e perspetivando o futuro desde logo, foi tomada uma decisão política e estratégica, no sentido de combinar forças entre as disciplinas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, tentando criar uma corrente de inspiração social através da conjugação de esforços entre as várias áreas. Nos EUA, os resultados nas áreas disciplinares de Ciência, Tecnologia, Matemática e Engenharia eram pouco satisfatórios, comparados com os resultados de outros países, pelo que, a manutenção deste cenário, a fraca preparação dos jovens para o mercado de trabalho nestas áreas iria prejudicar em muito a economia do país (English, 2016). Era necessário fomentar o aumento do número de jovens a prosseguirem os seus estudos e carreiras nas áreas da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, e tendo por base uma política governamental lançada a partir da *National Science Foundation* (NSF) foi utilizado o acrónimo SMET para designar estas áreas disciplinares, que em 2001 foi alterado para STEM. Desde essa altura este acrónimo STEM tem sido utilizado como foco fundamental da reforma educativa (Breiner et al., 2012), primeiramente como um slogan político e, posteriormente, introduzido no campo da educação no sentido de aumentar a competitividade global nos EUA.

No início dos anos 2000, o relatório *Rising Above the Gathering Storm* (National Academy Press, 2007) alerta para a diminuição da supremacia dos EUA nas áreas da Ciência e da Tecnologia propondo um investimento sério nestas áreas na tentativa de reforçar a competição com os restantes países, onde o conhecimento se encontra amplamente generalizado e onde a mão de obra é bastante mais barata. Neste relatório são efetuadas várias recomendações e propostas ações de modo a responder às necessidades do país, por forma a torná-lo mais competitivo, nomeadamente, melhorar aspetos relacionados com a Matemática e a Educação Científica nos ensinos básicos e secundários, de modo a garantir que os EUA sejam os primeiros em inovação, entre outros aspetos.

Desde 2007 que se pensa que, no futuro, a maioria dos empregos com melhores salários exigirá um domínio de competências científicas e matemáticas, competências essas intimamente relacionadas com o sucesso aos mais variados níveis desde a educação e formação, passando pela economia, inovação, competitividade no mercado global. Deste modo, segundo Breiner et al. (2012), a política norte americana tem investido prioritariamente, desde 2009, no ensino STEM, pois há consciência que o investimento neste tipo de ensino é fundamental para preparar os alunos para o mercado de trabalho do século XXI. Kelley et al. (2021) referem também a necessidade em melhorar a Educação STEM, não só ao nível dos EUA mas ao nível global. Honey et al. (2014) corroboram esta ideia salientando a importância da rápida necessidade em melhorar as competências STEM para enfrentar os desafios sociais e económicos tanto atuais como futuros. Nesta perspetiva, Breiner et al. (2012) consideram que as STEM permitem melhores professores, melhores alunos e melhor mão de obra, reforçando a ideia de que o Ensino STEM pode ser bem sucedido para o ensino básico e secundário, munindo os estudantes com competências necessárias para uma sociedade técnica em rápida evolução.

Segundo English (2016), ao nível das várias áreas da sociedade, nomeadamente política, empresarial, industrial e educacional, existe uma grande preocupação internacional comum para o avanço da Educação STEM, por forma a munir os alunos de competências nesta área, numa perspetiva de inovação e desenvolvimento, de modo a ser possível enfrentar atuais e futuros desafios sociais e económicos. Por um lado, neste mesmo artigo, English, constata que à data, havia uma falta de mão de obra qualificada das STEM. Realidade esta que se mantém até aos dias de hoje, daí ser fundamental e urgente os sistemas educativos dos diferentes países apostarem verdadeiramente nesta perspetiva. Por outro lado, Breiner et al. (2012) referem não existir falta de mão de obra nas áreas STEM, e que se devia investir em outras áreas da educação. Mencionam ainda que, por exemplo, no Reino Unido em 90 anos de dados recolhidos a crise das STEM não se alterou desde a introdução dos currículos escolares de Ciências.

English (2016) salienta que desde essa altura os debates em torno das vantagens da educação STEM, aliada ao facto da escassez de emprego STEM tem gerado muita controvérsia. No entanto, Tess Matteo, em *Task Force STEM Innovation*<sup>1</sup> refere que na década passada os empregos STEM cresceram três vezes mais que os empregos não STEM sendo o salário destes trabalhadores 26% mais elevado que o dos restantes. Apesar desta constatação “o entusiasmo pela aprendizagem STEM tem vindo a diminuir entre os estudantes de todo o mundo” (Kelley et al., 2021, p.1). Agências governamentais, entre outros, “estão a promover o desenvolvimento de currículos STEM integrados que podem ter impacto e envolver todos os alunos” (Kelley et al., 2021, p.1). Estes autores consideram fundamental que os modelos integrados STEM tenham

---

<sup>1</sup> Report 2017-2020, (*The XXX General Assembly Workbook*, 2021)

impacto nas aprendizagens dos alunos e gerem interesse nas carreiras STEM. Segundo Breiner et al (2012), só se pode falar em STEM quando se integram currículos de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática que se assemelham mais ao trabalho de um cientista ou engenheiro da vida real. Para outros, STEM é o impulso para formar mais estudantes nos domínios da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, para que os Estados Unidos possam manter a sua competitividade e não fiquem atrás dos países emergentes.

Em 2005, tendo como pressuposto que para manter a competitividade económica era necessário apostar na Educação STEM em todos os níveis de escolaridade, a criação de uma licenciatura em STEM constituiu-se como um grande impulso para que se iniciasse a expansão internacional e gradual das STEM até à sua generalização (Martín-Páez et al., 2019).

Em síntese, STEM surge, inicialmente, para reforçar a aposta nas carreiras científicas, colocando o foco, inicialmente, nas disciplinas individuais que fazem parte do acrónimo. Teve a sua grande divulgação como slogan político tendo, posteriormente, sido colocado maior foco, não nas disciplinas individuais, mas na articulação e posterior integração das mesmas, como irá ser apresentado de seguida.

## **2.2. Significados de Educação STEM**

Ao iniciar esta secção importa referir que uma das críticas que surge muitas vezes na literatura consultada é que há uma falta de clarificação, definição ou conceptualização e operacionalização comum de STEM, isto é, de um modo global não há consenso com o que se entende por Educação STEM (Martín-Páez et al., 2019, Quinn et al., 2020).

Desde logo, é fundamental clarificar o que se entende por cada área do acrónimo STEM. Em 2014, a National Academy of Sciences definiu-as da seguinte forma:

**Ciência-** Estuda o mundo natural, incluindo as leis e teorias da natureza associadas à física, química, biologia e geologia, bem como o tratamento ou aplicação de factos, princípios ou conceitos subjacentes a estas disciplinas. Por sua vez, a ciência é um conjunto de conhecimentos acumulados no tempo a partir de um processo (investigação científica) que gera novos conhecimentos.

**Tecnologia-** Inclui todo o sistema composto por pessoas ou organizações, o conhecimento, os processos e os dispositivos envolvidos na criação e funcionamento dos dispositivos tecnológicos, bem como os próprios artefactos. Assim, ao longo da história, a tecnologia tem sido utilizada para cobrir desejos e necessidades.

Engenharia- É o conjunto de conhecimentos que o ser humano dispõe para projetar e construir produtos para resolver problemas. A engenharia utiliza conceitos científicos e matemáticos e é auxiliada por ferramentas tecnológicas.

Matemática- Estuda os padrões e as relações entre quantidades, números e espaço. Distingue-se da ciência, porque esta utiliza provas científicas para justificar ou rejeitar hipóteses, ao passo que a matemática as garante, com base em argumentos lógicos assentes em pressupostos fundamentais. Algumas das categorias da matemática são: aritmética, álgebra, funções, geometria, estatística e probabilidade.

A Educação STEM tem sido conceptualizada de diferentes formas. Em termos de conceptualização pedagógica pode ser pensada apenas como um conjunto de disciplinas incluídas num currículo ou plano de estudos. Neste sentido envolve a sua mobilização e o modo como é efetuada essa mobilização tem variado ao longo do tempo e não é consensual (Breiner et al., 2012).

Martín-Páez et al. (2019) e Quinn et al. (2020) defendem a unificação de termos e a adoção de visões de educação STEM que sejam convergentes para um estudo simultâneo das quatro disciplinas STEM. Deste modo, Educação STEM pode ser concebida como “uma abordagem de ensino que integra conteúdos e competências específicos da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática” (Martín-Páez et al., 2019, p.18), bem como ser utilizada para comunicar os resultados do ensino destas áreas do saber.

Não obstante, a não existência de consenso que parece existir sobre o que é Educação STEM, existem aspetos comuns e consensuais entre os vários autores nomeadamente que a Educação STEM envolve a integração das 4 disciplinas que compõem o acrónimo. Outros aspetos também consensuais é que a Educação STEM parte de problemas reais do dia a dia e contempla a utilização de estratégias de aprendizagem como o *inquiry* e o *Design Thinking*.

## **Integração STEM (I-STEM)**

Apesar de o acrónimo STEM ter sido originalmente concebido para reforçar a importância das respetivas disciplinas, nos dias de hoje importa, uma vez que vivemos num mundo de natureza interdisciplinar, deixar de pensar na educação e consequentemente nos currículos escolares como apenas um conjunto de diferentes disciplinas separadas, estanques e isoladas, mas avançar para uma visão de currículo dinâmico, interdisciplinar e aplicado, que incentive a inovação e o pensamento crítico e criativo.

English, (2016), adaptando um trabalho de Vasquez et al., expõe no seu artigo perspectivas de como efetuar integração das disciplinas STEM no qual refere que existem vários níveis de

integração, do disciplinar, passando pelo multidisciplinar e interdisciplinar até ao transdisciplinar. Ao nível da integração disciplinar os conceitos e competências são ensinadas e, conseqüentemente aprendidas, separadamente em cada disciplina. Quando se refere integração multidisciplinar, os conceitos e competências essenciais de cada disciplina são ensinados separadamente em cada uma delas, mas, posteriormente, inseridos num tema comum. Numa perspetiva de integração interdisciplinar ocorre a introdução de conceitos/aprendizagens e competências estritamente ligadas entre duas ou mais disciplinas STEM, com o objetivo de aprofundar o conhecimento e competências de ambas as disciplinas. Quando se efetua integração ao nível transdisciplinar, o conhecimento e competências de várias disciplinas STEM são aplicados a problemas e projetos do dia a dia com o objetivo de moldar totalmente a experiência de aprendizagem. Assim, qualquer que seja o modo integração tem por si só já um valor acrescido para a aprendizagem. Em suma, em termos de quadro conceptual para a Integração STEM, podemos ter várias abordagens à integração, desde a disciplinar à transdisciplinar, num *continuum* (English, 2016). À medida que se caminha para a transdisciplinaridade há um aumento crescente da interligação e interdependência das disciplinas.

A grande mais-valia e inovação da Educação STEM reside na integração intencional das disciplinas para a resolução de problemas do quotidiano dos alunos e da sociedade. Ao efetuar-se a integração das disciplinas, estas devem passar a ser vistas como uma unidade. O sucesso da Educação STEM passa pelo ensino das disciplinas integradas como uma entidade coesa, não havendo a compartimentação que se apresenta na escola tradicional (Breiner et al., 2012). Estes autores postulam ainda que a integração não é uma abordagem nova ou inovadora, aludindo ao exemplo de Moore, no seu discurso à Sociedade Americana de Matemática, em 1903, onde refere que a escola não estabelece ligações entre as disciplinas que são apresentadas como entidades estanques. Só mais tarde, já na sua vida profissional e por necessidade, é que cada indivíduo estabelece essas ligações, fundamentais na resolução de problemas quotidianos.

Esta é uma perspetiva quando se fala em integração STEM, isto é integrar a Ciência, a Tecnologia, a Engenharia e a Matemática num currículo interdisciplinar e aplicado partindo de situações concretas e/ou para dar resposta a problemas do mundo que nos rodeia. Deste modo, certos autores, como McComas et al. (2020) referem que STEM e I-STEM são diferentes. Por um lado, utilizam STEM quando se refere ao ensino de uma das 4 disciplinas que compõem o acrónimo. Por outro, referem o I-STEM quando pretendem referir-se ao ensino integrado de duas ou mais disciplinas, sendo o cerne as ligações entre os conteúdos para responder a questões e problemas do dia-a-dia. Deste modo considera-se que educação STEM integrada é o uso, em contexto educativo, de STEM para resolver problemas do dia a dia dos alunos, utilizando pelo menos duas disciplinas. Por forma a explorar novas abordagens de integração para a Educação STEM, surge o conceito de Educação STEM Integrada (I-STEM) (Sanders, 2009), que inclui

abordagens que exploram o ensino e a aprendizagem entre duas ou mais áreas temáticas STEM e/ou entre uma disciplina STEM e uma ou mais disciplinas escolares.

Integração é sinónimo de esbatimento de fronteiras, através do estabelecimento de pontes e interconexões, entre as diferentes áreas do saber. Apesar de ser este o modo de pensar o mundo real, os professores não ensinam os conteúdos desta forma (Breiner et al., 2012).

O papel dos docentes no ensino e integração STEM é fundamental nomeadamente no apoio que deve ser dado aos alunos, de forma a ser equilibrado no estabelecimento da compreensão de conceitos fundamentais permitindo a sua aplicação durante a resolução de problemas. Os docentes ao efetuarem a integração devem efetua-la com uma representação equitativa das quatro disciplinas. (English, 2016)

Martín-Páez et al. (2019) referem que as ideias de como se realiza a integração STEM variam: uns defendem que o contexto deve ser o cerne da integração STEM, sendo por isso necessário trabalhar em contextos que impliquem fenómenos ou situações complexas através de tarefas que exijam que os alunos utilizem conhecimentos e competências de múltiplas disciplinas. Outros “propõem três caminhos diferentes para a integração de conteúdo STEM trabalhando com unidades ou atividades que: desenvolvam simultaneamente múltiplos objetivos de aprendizagem das diversas áreas de conhecimento STEM; abranjam significativamente conteúdos de algumas áreas como apoio ao desenvolvimento dos objetivos de aprendizagem envolvidos na principal área a ser trabalhada; partam de um contexto específico de uma área de conhecimento para localizar objetivos de aprendizagem de outros” (Martín-Páez et al., 2019, p. 6). Fruto da sua investigação, este autor conclui que na integração das quatro disciplinas, o papel da engenharia é normalmente destacado, enquanto a forma de as integrar recorrendo habitualmente a um contexto (real ou virtual).

Simarro et al (2021) vão mais longe ao referir “que os educadores STEM beneficiarão do ênfase dado à idiosincrasia disciplinar da engenharia porque lhes permitirá promover uma Educação STEM sólida que ofereça uma visão mais abrangente e realista de todos os domínios STEM” (p.9)

O ensino STEM integrado ocupa um espaço multidimensional, isto é, em vez de ser uma experiência única e bem definida, envolve um conjunto de experiências, com algum grau de ligação. Neste contexto, Honey et al. (2014) sistematizaram um enquadramento teórico das principais características do ensino STEM integrado tendo em consideração experiências pedagógicas efetuadas. Esta sistematização foi efetuada tendo em conta quatro características do ensino STEM integrado: objetivos, resultados, natureza e âmbito e implementação, Figura 2.1

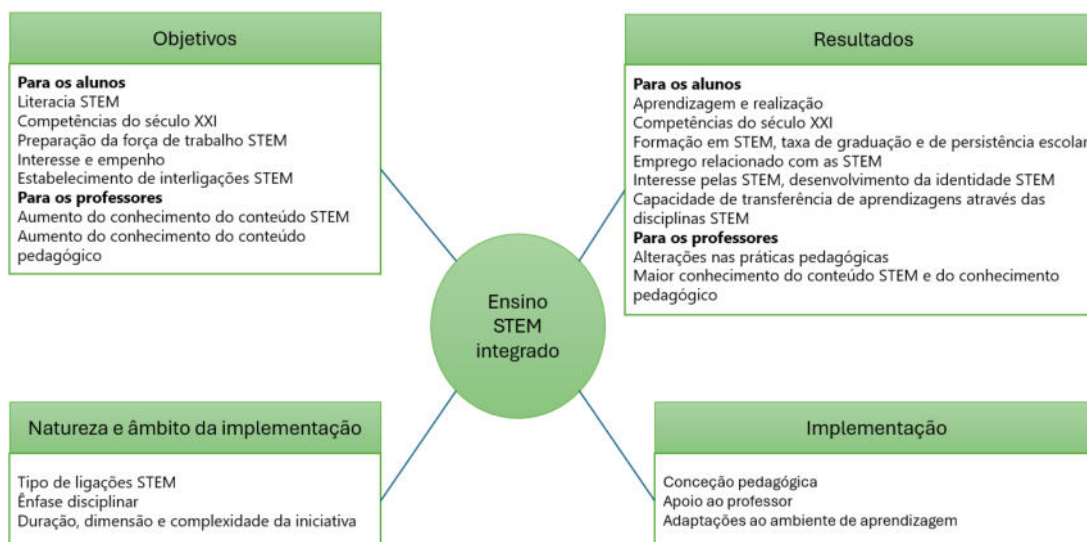


Figura 2.1- Quadro teórico das principais características do ensino STEM integrado, adaptado de Honey et al. (2014).

O quadro teórico das principais características do ensino STEM Integrado ajuda a compreender melhor e a dar sentido a este tipo de ensino. Com base neste quadro teórico, segundo os autores, é possível avaliar onde está a ocorrer a integração STEM. Assim, ao analisar as diferentes disciplinas STEM e as suas ligações é possível, eventualmente, ser encontrada a natureza e âmbito da integração STEM. Importa referir que os objetivos gerais deste quadro centram-se na compreensão de onde e como a literacia STEM está a ser abordada nos currículos.

É necessária uma aposta no desenvolvimento curricular na perspetiva da integração STEM, promovendo uma aprendizagem baseada em problemas do mundo real, unindo as disciplinas através de abordagens coesas e ativas, bem como focar a análise e investigação nos resultados dos alunos (English, 2016). Durante a conceção e implementação de uma intervenção educativa STEM é fundamental ter em conta aspetos fundamentais como: “onde, como, para quem e em que condições é desenvolvida” (Martín-Páez et al., 2019).

Sanders (2012) refere que "STEM Integrativa" e "Integração STEM" são perspetivas diferentes de abordar a Educação STEM integrada. Por um lado, no primeiro caso, o processo de ensino aprendizagem está totalmente centrado nos alunos, em constante desenvolvimento e tendo um carácter dinâmico. Por outro lado, a “Integração STEM” sugere um processo mais estático, supervisionado pelos professores (Martín-Páez et al., 2019). No caso da investigação que a que se refere este trabalho foi esta a perspetiva que se seguiu.

Qualquer prática de ensino STEM integrado deve conduzir à promoção de uma literacia STEM que tem de incluir, necessariamente a compreensão da natureza da Ciência, da Tecnologia, da Engenharia e da Matemática (Quinn et al., 2020).

No sentido de uma verdadeira literacia STEM é fundamental que cada uma das disciplinas envolvidas identifique e defina conteúdos essenciais a mobilizar ao nível dos diferentes domínios: concetual, procedimental e atitudinal por forma a ser possível aos alunos o reconhecimento das ligações entre os vários conteúdos e domínios das várias áreas disciplinares envolvidas. Deste modo ocorrerá uma verdadeira integração de modo que a qualidade do produto final é superior à soma das partes individuais (Martín-Páez et al., 2019). Quando um aluno for capaz, através integração destas quatro áreas do saber, de perceber e compreender o mundo e o modo como este funciona, e deste modo contribuir para melhorar as condições económicas, sociais e ambientais em seu redor, através da aplicação da compreensão efetuada, então terá ocorrido uma verdadeira alfabetização/literacia em STEM. Para que tal ocorra é fundamental, tal como sugerido por Breiner et al, (2012), que os alunos constatem as ligações entre todas as disciplinas. Deste modo é necessário que os professores dos diferentes níveis de ensino estejam familiarizados com as inter-relações entre e através das disciplinas STEM e trabalhem em conjunto com outros docentes especialistas.

Como exposto até ao momento, a integração STEM constitui-se, por si só, como uma vantagem. No entanto, Quinn et al, (2020), consideram que é fundamental clarificar o que é STEM, se assim não for, não é possível definir claramente objetivos e metas de aprendizagem STEM, nem desenvolver currículos STEM, e muito menos proporcionar desenvolvimento profissional para professores STEM, bem como será muito difícil estudar os impactos das iniciativas STEM através da análise crítica de resultados.

Tendo em conta o exposto, na secção seguinte apresentam-se modelos de Educação STEM, de natureza epistemológica e em termos de práticas de implementação.

### **2.2.1. Modelos de Educação STEM Integrada e formas de implementação**

STEM começa a emergir como um “corpo” disciplinar, como uma disciplina, como uma unidade integrada. Mas, para ser considerada como tal tem de expressar a sua epistemologia, “que se manifesta frequentemente como o estudo da natureza do conhecimento” (Quinn et al., 2020). Para estes autores a definição STEM necessita de uma reflexão sobre se os diferentes domínios ou áreas têm características epistemológicas verdadeiramente integradas ou se estão combinados de formas menos integradas (ou seja, transdisciplinares, multidisciplinares, unidisciplinares ou

isoladas...). Millar (2020) reconhece que é fundamental analisar a epistemologia das STEM uma vez que é necessário para fundamentar modelos, analisar benefícios e desafios associados à integração e explorar formas de promover uma aprendizagem mais significativa. Mas... será que existe uma natureza STEM?

Quinn et al. (2020) consideram que se existir uma natureza STEM esta deve ser teorizada. E é isso mesmo que efetuam no seu artigo referindo que “compreender o que são a Ciência, a Tecnologia, a Engenharia e a Matemática exige que se compreenda o que é o conhecimento e como se justifica num domínio (ou seja, a epistemologia) e como esse conhecimento é gerado (ou seja, processos e práticas)”(Quinn et al., 2020, p. 5).

No seu estudo, estes autores tentaram compreender o modo como o conhecimento é construído e validado em cada disciplina STEM, bem como identificar e perceber os aspetos comuns às várias disciplinas e os aspetos e/ou características específicos/as. Constataram que a Engenharia não tem características únicas fora dos três domínios disciplinares, mas sim que, quer ao nível do conhecimento quer das práticas, resulta da interceção das três disciplinas, Figura 2.2

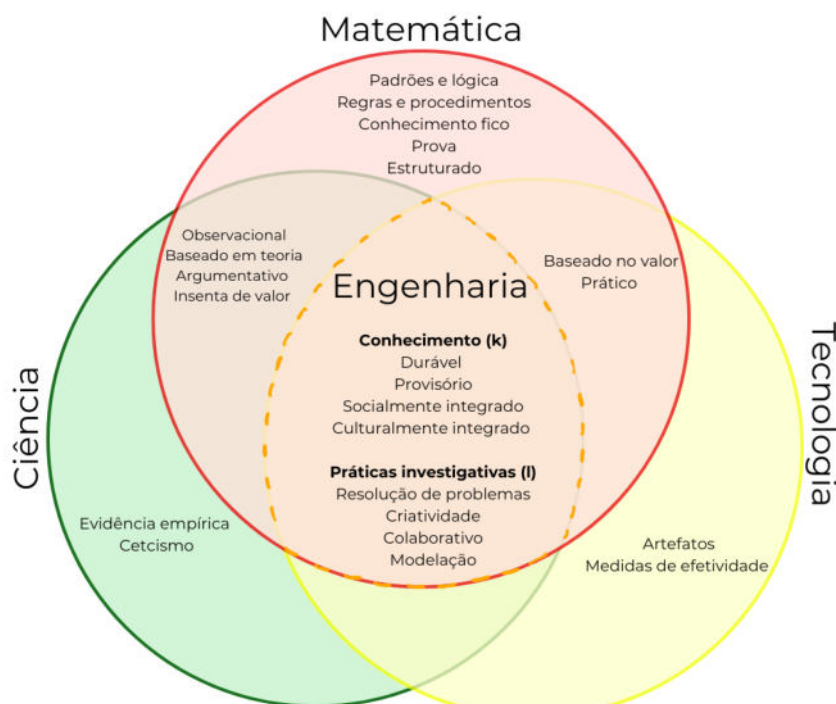


Figura 2.2 Conhecimento e práticas investigativas partilhadas pelas disciplinas de Matemática, Ciência e Tecnologia, adaptado de Quinn et al. (2020)

A análise da figura 2.2, permite a identificação dos aspetos comuns à Ciência, Matemática e Tecnologia, verificando-se que da sua interceção há algo em comum, o conhecimento, durável,

provisório, socialmente e culturalmente integrado, e as práticas investigativas, a resolução de problemas, a criatividade, a colaboração e a modelação, características da Engenharia.

Face ao exposto, após uma caracterização da posição epistemológica de cada uma das disciplinas que compõe o acrónimo, tendo em conta a natureza do conhecimento produzido e a natureza das práticas de investigação, estes autores propõem um modelo convergente para a natureza STEM, Figura 2.3, no qual propõem que a natureza das STEM se manifesta pela natureza da Engenharia.

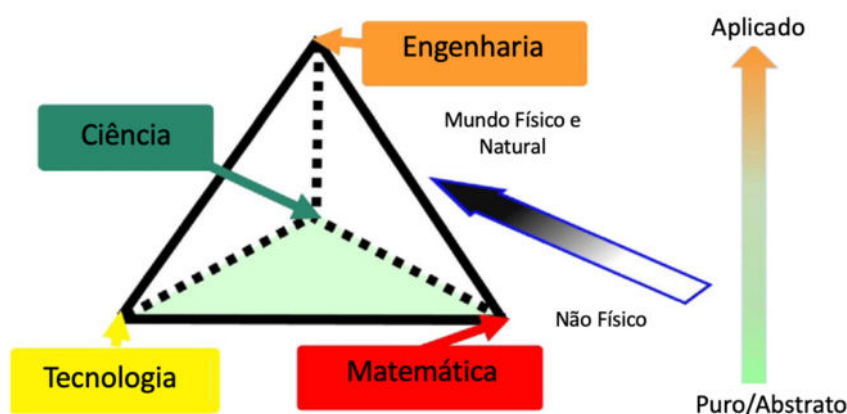


Figura 2.3 Modelo convergente para a natureza das STEM, adaptado de Quinn et al. (2020)

Este modelo, tetraedro tridimensional, baseia-se em três dimensões: A profundidade, isto é, no enfoque dado pela disciplina ao mundo físico e natural ou ao mundo não físico ou não natural; A altura, isto é, no tipo de disciplina se é pura ou aplicada; O volume, isto é, nas muitas formas de integração das disciplinas. Relativamente à profundidade, verifica-se que Ciência e Tecnologia representam formas de compreender (e manipular) o mundo natural em contraste com a Matemática, que não se limita, pode ultrapassar o mundo físico. A Engenharia é específica para resolver problemas concretos. Na dimensão da Altura, constata-se que a Ciência, enquanto domínio puro, pode colocar questões de base. Em oposição está a Engenharia, uma vez que está principalmente associada a juízos e avaliações humanas. A última dimensão, o Volume, atende às várias formas de integração da Ciência, da Tecnologia e da Matemática, produzindo, assim, conhecimentos e práticas de investigação mais estreitamente alinhados com a Engenharia.

Deste modo, Quinn et al. (2020) propõem que a natureza epistemológica das STEM se manifesta através da Natureza da Engenharia. Embora concordem que as STEM não são uma disciplina, as STEM podem ser caracterizadas pela Natureza da Engenharia. O ensino STEM deve

atender às áreas de sobreposição das diferentes disciplinas e, simultaneamente, promover o desenvolvimento da literacia nas regiões não sobrepostas. O presente modelo permite isso mesmo, que no ensino STEM se integrem as disciplinas, a sua própria natureza específica para além da natureza integradas das STEM. Deste modo é um modelo que define as STEM como multidimensionais (“profundidade, altura e volume”) em vez de integradas, isto permite que a Engenharia possa resultar da integração de quaisquer duas áreas. Esta abordagem permite identificar oportunidades para integrar conteúdos e práticas das diferentes disciplinas permitindo uma melhor compreensão das abordagens de ensino e aprendizagem que podem ser adotadas na integração do STEM. O modelo apresentado constitui-se como uma proposta teórica com principal enfoque nos princípios e práticas da Engenharia.

Quinn et al (2020) propõem um modelo epistemológico de integração STEM. No entanto, como concretizar, na prática letiva, o STEM de modo integrado? Existirá um único modo de implementação?

Vários autores, nomeadamente, Kelley et al. (2021) e Thibaut et al. (2018), têm realizado investigações sobre modos e formas de implementação da Integração STEM, elaborando e propondo modelos que contribuem para o enquadramento e a conceção de sequências didáticas STEM. De seguida, apresentam-se modelos de implementação integradas das STEM.

No estudo de Kelley et al., 2021, sobre o modo de como os programas de integração STEM são implementados ao nível do ensino básico e secundário, através da análise de práticas letivas de diferentes docentes, emergiram três modelos:

- Modelo de inclusão de conteúdos STEM
- Modelo de integração de conteúdos STEM
- Modelo transdisciplinar através da integração de conteúdos e práticas STEM

De acordo com o primeiro modelo, modelo de inclusão de conteúdos STEM, as disciplinas são integradas em contexto de sala de aula. O professor integra, de modo objetivo, conteúdos de uma outra disciplina STEM com os conteúdos da sua própria área disciplinar de modo a efetuar ligações transversais e melhorar a aprendizagem de ambas as disciplinas. Geralmente, esta é uma abordagem típica para professores que querem integrar STEM na sua própria disciplina, na sua própria aula e não têm parceiro. Segundo este modelo o conteúdo é integrado numa sala de aula e um professor acrescenta um ou mais conteúdos adicionais do domínio STEM na sala de aula. Esta abordagem é frequentemente designada por multidisciplinar

No segundo modelo, Modelo de integração de conteúdos STEM, um professor de um domínio STEM partilha o seu conhecimento com os seus alunos que servem como monitores através da partilha do mesmo a colegas de outra sala de aula parceira. Os alunos de ambas as salas de aula são chamados a partilhar os conhecimentos adquiridos e a trocar esses conhecimentos e

competências como especialistas em conteúdos. O catalisador desta integração pode ser o desafio de conceção de engenharia que exige uma integração autêntica de conhecimentos e competências de dois ou mais domínios.

O terceiro modelo, Modelo transdisciplinar através da integração de conteúdos e práticas STEM, pressupõe partilha práticas e de conhecimentos STEM, através do estabelecimento de uma comunidade aprendizagem. Por exemplo, no estudo apresentado por Kelley (2021), os professores colaboraram entre duas salas de aula, partilhando experiências de forma que os alunos de tecnologia participassem em experiências de investigação científica juntamente com os alunos de ciências. Os alunos de ciências participavam em experiências de *design* de engenharia juntamente com os alunos de tecnologia, criando uma verdadeira comunidade de aprendizagem. Alguns autores (Fulton & Britton WestEd, 2011) sugerem que o desempenho dos alunos melhora com uma abordagem de ensino em que os professores colaboram e criam comunidades de aprendizagem.

Por forma a contribuir para a conceção de sequências didáticas STEM integradas, ou que pretendam promover a integração, e aumentar a motivação dos alunos nesta área, Thibaut et al., (2018) efetuaram uma investigação que tentou identificar os elementos cruciais presentes no processo de ensino aprendizagem. Estes autores definiram um quadro conceptual para as práticas de ensino em STEM integradas no ensino secundário, com base nos resultados de uma análise sistemática da literatura existente. Este quadro conceptual contém cinco princípios fundamentais: integração de conteúdos STEM, aprendizagem centrada na resolução de problemas, aprendizagem baseada na investigação (*inquiry*), aprendizagem baseada no *design* e aprendizagem cooperativa, tendo como base o construtivismo social, como modelo de aprendizagem, Figura 2.4.

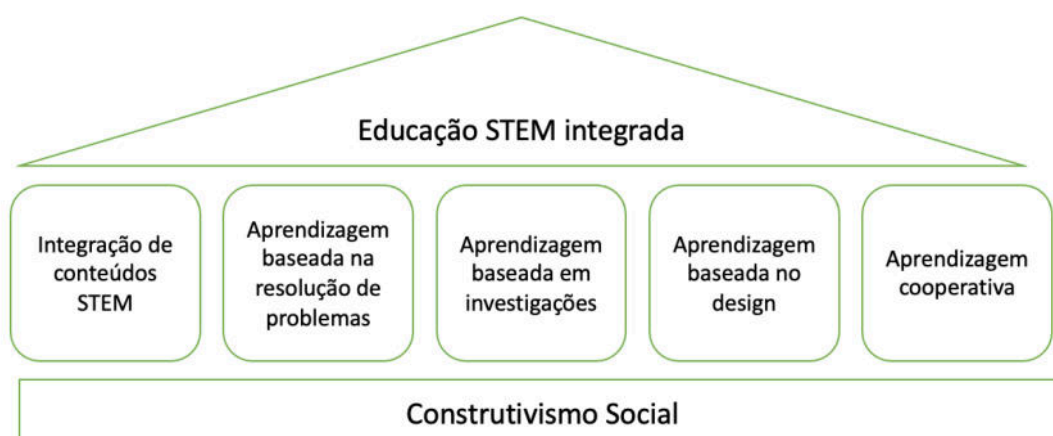


Figura 2.4 - Quadro teórico para práticas de ensino em STEM integradas, adaptado de Thibaut et al. (2018)

De acordo com o construtivismo social a aprendizagem é socialmente situada e o conhecimento construído através da interação com os outros. As interações com o ambiente que rodeia o aluno e as experiências vividas por este contribuem para a aprendizagem uma vez que o aluno constrói as suas interpretações pessoais do mundo. À semelhança do cognitivismo, neste processo o aluno é um participante ativo no processo de aprendizagem.

O modelo apresentado possibilita uma abordagem estruturada para a Educação STEM ao nível da operacionalização das práticas, podendo constituir-se como um referencial orientador no sentido de conceber experiências de aprendizagem envolventes e eficazes (Thibaut et al., 2018). Articulando e reunindo os diferentes “pilares” pode criar-se um ambiente educativo dinâmico motivador no sentido de promover a definição de problemas, a procura soluções usando vários meios e incorporação competências no domínio do *design* de Engenharia (Kelley et al. 2016).

Simarro et al. (2021) consideram que é fundamental envolver claramente os alunos nas práticas de engenharia, isto é, envolvê-los mais nos seus processos em detrimento dos seus produtos, uma vez que engloba práticas específicas, na área do fazer, da comunicação, do pensamento, da valorização, ... neste âmbito é necessário fazer esta aposta, a aposta no *design* de Engenharia, como uma nova literacia, a ser explorado posteriormente.

Em síntese, com base no apresentado até ao momento verifica-se que no processo de ensino existem diferentes modelos de implementação de integração STEM e que a Educação STEM integrada, que assenta em cinco princípios fundamentais, entre eles a aprendizagem baseada no *design*, é um acrescento significativo às STEM, sendo a Engenharia a expressão da natureza epistemológica das STEM.

## **2.3. Do STEM ao STEAM**

No início do século XXI, as Academias Nacionais dos EUA constataram que era fundamental preparar os alunos para a nova economia global e que a Educação STEM não estava a dar os resultados esperados. Por exemplo, o ensino das Ciências e da Matemática não apostam na resolução de problemas criativos e do mundo real. O sistema de ensino não está atualizado na era digital e há um grande aumento da taxa de abandono escolar e universitário principalmente nestas áreas. Torna-se necessário percorrer caminhos inovadores para resolver estes e outros problemas complexos numa sociedade mundial em constante transformação. É urgente que ocorram mudanças que tornem as STEM atrativas, uma vez que as profissões do passado não são as do presente e muito menos as do futuro. Por exemplo, atualmente é exigido a um engenheiro que tenha capacidades artísticas e vice-versa. A inclusão das Artes nos currículos STEM pode

responder às necessidades de uma sociedade em mudança e promover a inovação e criatividade (Barros, C., Silva, G., & Barros, S. 2021). Segundo Zeidler (2016), a incorporação das artes, humanidades e dos contextos socioculturais na Educação STEM promove uma melhor literacia científica, fundamentando o conhecimento científico em perspetivas sociais amplas proporcionando uma experiência educacional mais abrangente e significativa para os alunos.

Deste modo, a ideia de Educação STEAM apresentada por Yakman (2008), pode constituir-se como resposta a estas preocupações. A Educação STEAM defende a utilização, por integração ou de modo cumulativo, de pelo menos duas disciplinas do acrónimo, sendo uma delas as Artes. No início do século XXI, as Artes passaram a ser parte integrante do ensino STEM, por forma a dar um novo e renovado impulso ao ensino STEM. Christopoulos et al. (2023) enfatizam o papel das Artes na melhoria do desempenho académico dos alunos, uma vez que possibilitam o levantamento de problemas e questões de investigação e são promotoras da criatividade e do pensamento crítico.

Yakman (2008) defende e apresenta STEAM, que tem por base a educação STEM, como modelo educativo e quadro conceptual que permite a planificação de currículos integradores das disciplinas académicas tradicionais (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), muitas vezes isoladas. Este modelo, pressupõe a aprendizagem individual ao longo da vida, educação holística, incluindo a área das Artes, fundamental para a formação global e integral dos cidadãos. Este modelo, adaptável ao nível das relações disciplinares e estruturado em torno dos elementos básicos da educação, é fundamental para responder ao desafio educativo de uma realidade em rápida e sistemática mudança. Reflete, ainda, a forma como as áreas de estudo se interligam na realidade. Deste modo, os conteúdos podem ser ensinados com base numa disciplina através da exploração de elementos transdisciplinares, de modo integrador. Pode ocorrer, assim, transferência de aprendizagem, isto é, o pensamento específico de uma disciplina pode ser transferido para as outras bases, contribuindo para formar cidadãos literados funcionalmente, o que lhes permite serem mais eficazes uma vez que, compreendendo as ligações entre as várias disciplinas, sabem como pensar em termos globais (Yakman et al., 2012).

Segundo este modelo, o domínio das Artes, para além das artes liberais, na qual se incluem disciplinas como a filosofia, a história e a educação, inclui as artes físicas, manuais, belas-artistas, música, dramaturgia e literatura que têm em comum a criatividade como competência transversal a todas elas.

STEAM potencia a aprendizagem ao longo da vida, tendo em conta o seu carácter de ensino inovador de convergência integrada. É adaptável, uma vez que pode ser representativo da cultura circundante. Os alunos são estimulados a desenvolver a capacidade de adaptação à sociedade global de modo a contribuírem para a sua evolução. Contribui, ainda, para uma melhor

compreensão dos outros, as suas perspetivas e culturas, de modo a facilitar a comunicação e trabalho, uns com os outros, “mantendo simultaneamente as suas próprias identidades” uma vez que podem ficar “literados” numa área mais específica (Yakman et al. 2012).

Citando, Yakman (2008, p.17) a sua investigação resume-se na definição: “**STΣ@M: 'Ciência e Tecnologia, interpretadas através da Engenharia e das Artes, todas baseadas numa linguagem de Matemática'.**”, Figura 2.5.



Figura 2.5 - Pirâmide STΣ@M. Modelo adaptado de Yakman (2008), por Filipe (2023) na sua tese de mestrado apresentada à Universidade de Lisboa intitulada: Educação STEAM na aprendizagem da energia: um trabalho com alunos do 10º ano.

Uma vez que, cada pessoa é individual, com as suas próprias perspetivas, o processo de ensino aprendizagem não pode ser igual para todos os alunos, deste modo, no topo da pirâmide surge a aprendizagem holística, que não pode ser verdadeiramente planeada pois é fruto, também, do ambiente que rodeia cada aluno. Nesta pirâmide, o 2.º nível, STEAM, pressupõe o estabelecimento de uma integração planeada, baseada na realidade e no modo como os diferentes domínios se interrelacionam. Trabalhando individualmente ou em equipas, os professores devem valorizar e reforçar as aprendizagens de outros domínios. O nível seguinte, nível multidisciplinar, é aquele no qual os alunos podem obter uma perspetiva dos domínios selecionados e uma visão mais específica do modo como se relacionam na realidade. Descendo na pirâmide baixamos para o nível específico da disciplina, o foco principal são as disciplinas individuais e posteriormente para o nível dos conteúdos disciplinares específicos, já numa perspetiva de especialização (Yakman, 2008).

Perignat et al. (2019) sugerem que, da investigação realizada, a integração das disciplinas STEAM é efetuada de vários modos, desde o transdisciplinar, interdisciplinar, multidisciplinar, transdisciplinar ou integração artística.

Christopoulos et al. (2023) referem que existem diferentes modelos de implementação STEAM: O modelo STEAM integrado equivalente (S+T+E+A+M), segundo o qual todas as disciplinas que compõem o acrónimo são trabalhadas de igual forma, tendo a mesma valorização, sendo possível a integração a vários níveis, interdisciplinar, multidisciplinar ou transdisciplinar e o modelo STEAM integrado complementado pelas artes (STEM+A), que se baseia conceito instrumental da arte, sendo que, as atividades práticas dos alunos são complementadas através de diferentes expressões artísticas, desde o desenho, à representação. Segundo este modelo as Ciências Naturais são os eixos de integração. Os projetos a curto prazo constituem-se como a principal forma de ensino aprendizagem, promovendo o desenvolvimento do espírito artístico e criativo dos alunos. Estes autores referem que existe uma grande ambiguidade sobre o papel e o significado das Artes na Educação STEAM, apresentando um esquema que clarifica esse mesmo papel, Figura 2.6



Figura 2.6 - A noção das Artes na Educação STEAM, adaptado de Christopoulos et al. (2023)

Aliada a esta mesma ambiguidade sobre o papel das Artes existem, ainda, múltiplos significados de Educação STEAM (Perignat et al., 2019). Alguns autores defendem que Educação STEAM, que aposta na motivação e avanço na transdisciplinaridade, é uma metodologia de ensino, outros como modelo de ensino integrador, outros que se constitui como ferramenta pedagógica e ainda outros que a pensam como currículo. O mesmo também é apontado por Pugliese (2020), quando refere que a Educação STE(A)M pode assumir várias interpretações, nomeadamente ser sinónimo de política pública educacional, de metodologia/abordagem, de currículo ou de modelo pedagógico ou educacional. No presente trabalho considera-se que a Educação STEAM é uma abordagem educativa baseada na integração de conhecimentos das

várias disciplinas que compõem o acrónimo, com a finalidade de resolver problemas do contexto real, do dia-a-dia dos alunos (Sanz-Camarero et al., 2023). Deste modo, constituiu-se como metodologia ativa, centrada no aluno e baseada em projetos. Com a Educação STEAM aspira-se ao rompimento de barreiras a partir de práticas pedagógicas que contribuem para a formação integral do aluno e gerar resultados mais satisfatórios no processo de ensino aprendizagem. Para tal, é necessário que os professores compreendam o que promover no seu processo de ensino para a construção do conhecimento. A Educação STEAM possibilita que o conhecimento seja mobilizado e trabalhado de modo transdisciplinar, ativo, prático e criativo. Já Zeidler (2016) refere que o “modelo do excedente” na Educação STEM incentiva o desenvolvimento do pensamento crítico, da criatividade e da colaboração interdisciplinar, fundamentando o conhecimento científico em contextos socioculturais e políticos, fomentando assim a participação responsável nas comunidades. Perignat et al. (2019) corroboram a ideia de Zeidler acrescentando que a Educação STEAM reforça a criatividade e as capacidades de raciocínio.

Como exposto até ao momento, a Educação STEAM é adaptável a todos os níveis, tipos e estilos de ensino tendo como elementos fundamentais o *design* criativo e a aprendizagem emocional (Yakman et al., 2012). Nas secções seguintes são explorados aspetos relacionados com a aprendizagem, baseada no *design* e no *Design Thinking*, e com a criatividade.

## **2.4. Aprendizagem baseada no *design* e o *Design Thinking***

Para conseguir uma integração STEAM de sucesso, o *design* e o *Design Thinking* têm um papel fundamental. Por um lado, Simarro et al., (2021) expressam claramente que, no contexto do Ensino STEM, o ensino da Engenharia tem ganho importância, sendo a investigação sobre as práticas desta disciplina um dos pilares do ensino STE(A)M sólido. Por outro lado, Li et al., (2019) acrescentam que, quer o *design* quer o *Design Thinking* promovem diferentes perspetivas e abordagens na resolução de problemas sendo cruciais para a criatividade e a inovação, fundamentais no desenvolvimento e implementação do ensino STE(A)M integrado. As atividades de *design*, não só em Engenharia e Tecnologia, mas também no ensino STE(A)M integrado, contribuem para a aprendizagem e para o *Design Thinking*. Segundo estes autores, o *Design Thinking* é um modelo de pensamento fundamental para no século XXI que importa que os alunos desenvolvam e que o ensino STE(A)M o promova, uma vez que gera diversas oportunidades como facilitador da aprendizagem dos alunos, através do *design*.

Importa, desde já, clarificar os conceitos de *design* e *Design Thinking*.

Em termos formais e profissionais, nos campos da Engenharia e Tecnologia, por exemplo, podemos considerar que o *design* é um conjunto de atividades que conduzem a um produto final, geralmente com impacto, que envolve a conceção e criação de algo. Ou simplesmente, em termos não formais, o *design* pode ser a abordagem de uma pessoa identificar e resolver um problema, criado pelo próprio homem. Na Educação STEAM, com a introdução da Engenharia e da Tecnologia em contexto escolar, importa pensar em novas perspetivas sobre o que os alunos podem e devem efetuar, incluindo “o *design* e os benefícios que os alunos podem obter da atividade de *design*, incluindo o desenvolvimento do *Design Thinking*”. (Li et al., 2019 p. 2). Se um professor estiver atento às ideias de *design* e intuições dos seus alunos pode estar no caminho para fomentar o *Design Thinking* e a criatividade nos mesmos. Hallström et al. (2023), sugerem que, do ponto de vista metodológico, o *design* possibilita a unificação das disciplinas STE(A)M. Num ensino dito “tradicional” será lógico a não utilização do *design*.

O *Design Thinking* desloca o foco do produto final para o próprio processo de resolução de problemas. Enfatiza como os designers trabalham e abordam a resolução de problemas em vez de apenas o resultado. No *Design Thinking* procura-se a empatia com os utilizadores finais, redefinem-se problemas, combinam-se perspetivas, criam-se soluções de *brainstorming* e protótipos, muito para além do âmbito da conceção do produto (Waidelich et al., 2018).

Segundo Razzouk, et al. (2012) p. 1 "O *Design Thinking* é geralmente definido como um processo analítico e criativo que envolve uma pessoa em oportunidades de experimentar, criar e prototipar modelos, recolher feedback e redesenhar." Esta definição abrangente permite o esbatimento das barreiras disciplinares, por vezes impostas à atividade de *design*, permitindo que o *Design Thinking* seja visto como um modelo de pensamento no contexto escolar. (Li et al., 2019).

Wolniak (2017) salienta o poder do *Design Thinking* na e para a inovação. Segundo a autora, é um método que “combina as perspetivas dos utilizadores, a viabilidade tecnológica e as perspetivas de negócio para desenvolver soluções inovadoras para além das expectativas típicas.” Acrescenta, ainda, que: “o *design thinking* tem o poder de transformar a forma como trabalhamos, transformando a forma como pensamos, abordamos os problemas e desenvolvemos produtos e serviços” (Wolniak, 2017, p. 1).

Owen (2007) afirma que o *Design Thinking* gera novos padrões e conceitos para abordar factos e explorar múltiplas possibilidades. Este autor sugere também que o *Design Thinking* torna-se essencial pois agrupa a compreensão e análise vinda do campo das ciências com soluções criativas e inovadoras. Deste modo, realça a importância da aprendizagem baseada no *design* e do *Design Thinking* para a integração STE(A)M.

Autores como Kelley et al. (2016) e Simarro et al. (2021) consideram que um projeto de Engenharia pode ser o integrador ideal de conteúdos STE(A)M, uma vez que pode ser uma porta de entrada ideal para incluir práticas de Engenharia no currículo, possibilitando que as disciplinas STE(A)M sejam colocadas no mesmo patamar de igualdade. Através do *design* os alunos podem testar os seus conhecimentos científicos em aprendizagem e aplicá-los a problemas práticos contribuindo, deste modo, para o gosto e compreensão da Ciência. O projeto de Engenharia pode, também, fornecer contexto para aprendizagem. No entanto, English et al. (2015), alertam que a Engenharia só fornece contexto real para a aprendizagem STE(A)M se, e só se, for adotada uma abordagem de integração.

Segundo Kelley et al. (2016), p. 5: “O elemento analítico do processo de conceção de engenharia permite que os alunos utilizem a Matemática e a investigação científica para criar e realizar experiências que informarão o aluno sobre a função e o desempenho de potenciais soluções de conceção antes da construção de um protótipo final”. Ao ser utilizado, como estratégia de aprendizagem, o *design* ou projeto de Engenharia apela à sistemática resolução de problemas, possibilitando a identificação das interseções e estabelecimento de ligações entre as várias disciplinas.

Apesar das diferenças inequívocas entre o projeto de Engenharia e a investigação científica, existem aspetos promovidos por ambos, nomeadamente os processos de raciocínio, a incerteza e o facto de a aprendizagem ser eminentemente prática. Neste contexto, o ensino e aprendizagem das Ciências pode beneficiar com uma abordagem através do *design*, pois permite a aplicação de conhecimentos científicos e o ato de investigar, fornecendo contexto verdadeiro para a aprendizagem do raciocínio matemático no sentido da tomada de decisões conscientes e informadas durante o processo de conceção (Kelley et al., 2016).

English et al. (2015) sugerem, ainda, que o *design* estabelece uma ligação entre a Educação STE(A)M e as práticas do mundo real tornando os alunos, que têm geralmente enorme potencial para a Engenharia, mais aptos a aplicar os conhecimentos disciplinares em cada uma das disciplinas, uma vez que estão envolvidos em processos de conceção e reconceção inerentes ao *design*. Estes autores referem, ainda, a existência de cinco etapas abrangentes de *design*: definição e âmbito do problema, *brainstorming*, conceção e construção, avaliação da conceção e nova conceção, processos tidos em consideração na presente investigação. Quando envolvidos num processo de *design*, os alunos são mobilizados a identificar claramente o que se pretende resolver, identificando critérios de sucesso e limitações, discutir, planear, conceber e avaliar possíveis soluções, melhorar a solução testando e melhorando a conceção final. Na Figura 2.7, apresenta-se um quadro conceptual do processo de *design* de Engenharia adaptado de English et al. (2015) em que são descritas as cinco etapas referentes ao *Design Thinking*, que serve de base ao desenvolvimento ao presente trabalho.

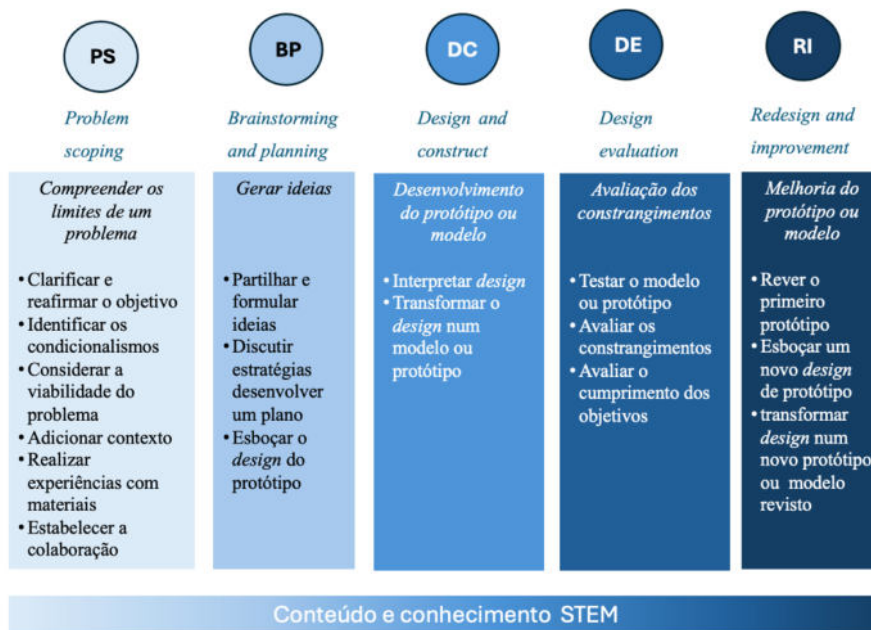


Figura 2.7 - Quadro conceptual do processo de *design* de Engenharia adaptado de English et al. (2015)

Ao trabalhar o *design* de Engenharia com os alunos, estes começam a aplicar conhecimentos disciplinares quando avaliam e melhoram o seu protótipo. É fundamental o tempo disponível, em sala de aula, para permitir que os alunos concluam os seus projetos iniciais, os construam, os avaliem e introduzam eventuais melhorias (English et al., 2015). Simarro & Couso (2021) vão mais longe, consideram que “o *design* não é apenas uma parte das práticas, mas a prática abrangente ligada ao objetivo disciplinar real da engenharia.” (p. 9). No entanto, Li et al. (2019) referem que alguns investigadores e docentes tentaram desenvolver e utilizar o *design* apenas como uma abordagem pedagógica geral para envolver os alunos, ajudando-os a aprender STEAM, ao invés de se concentrarem simplesmente na utilização do *design* de Engenharia.

Com base numa investigação realizada, tendo por base uma atividade de resolução de problemas baseada no *design* em que houve a integração STEM, English (2019) verificou que os alunos ficaram conscientes do conhecimento STEM que utilizaram ou precisavam de utilizar, bem como foram capazes de tomar decisões e comunicar explicações baseadas no conhecimento. Deste modo podemos concluir que o *design* promove a colaboração e a aplicação prática do conhecimento (Owen, 2007) permitindo uma integração mais equilibrada das diversas disciplinas STE(A)M (English et al., 2015).

Em suma, é fundamental desenvolver o *design* e o *Design Thinking* dos alunos no e através do ensino STEAM. Li et al. (2019) referem que os benefícios do *design* no ensino STE(A)M integrado são recíprocos. O ensino STE(A)M integrado beneficia os alunos em práticas de *design* e o *design* pode ajudar os alunos a aprender conteúdos STE(A)M, bem como

desenvolver o *Design Thinking*. Estes autores consideram ainda que deve ser adotada uma perspectiva ampla do *design* e do *Design Thinking* e não balizar o *design* como pertencendo a uma área específica, uma vez que, pode contribuir para melhorar o que o ensino tem para oferecer aos alunos.

## 2.5. Criatividade e Educação STEAM

Ao iniciar a presente subseção importa tentar clarificar o conceito de criatividade, identificar as suas dimensões, reconhecer os seus níveis e tentar compreender a sua relação e importância na Educação STEAM.

Do ponto de vista da psicologia sociocultural, a criatividade é identificada como um fenómeno histórico com formas bem definidas como a artística, científica e artesanal, cada uma enraizada em contextos e características específicas (Lage-Gómez et al., 2024).

Segundo Hathcock et al. (2015) criatividade refere-se a qualquer ato humano que resulte na geração de algo novo, seja um objeto físico ou uma construção mental/emocional. Thuneberg et al. (2018) consideram que a criatividade envolve a combinação de ideias ou conceitos não relacionados para gerar soluções novas e inovadoras. Para estes autores engloba a capacidade de visualizar problemas ou tarefas de diferentes ângulos, fomentando *insights* e soluções únicas. Pressupõe a criação de ideias originais que contribuam para a resolução de problemas e inovação com recurso ao pensamento divergente, isto é, exploração de múltiplas possibilidades e soluções, incentivando abordagens não convencionais aos desafios. Estes autores consideram, ainda, que a criatividade permite que os indivíduos se expressem livremente, fomentando a autonomia e a autorregulação no processo de aprendizagem. Para Stretch et al. (2021) a criatividade é um fenómeno omnipresente e global no campo da educação, e engloba várias formas de criatividade, capacidades cognitivas e traços conativos, relacionados com a deliberação, motivação, intencionalidade e empenho. Lage-Gómez et al. (2024) corroboram a visão de Stretch uma vez que, segundo estes, a criatividade é reconhecida como um fenómeno icónico e global no domínio da educação, abrangendo várias perspectivas e visões do processo de ensino aprendizagem e diferentes tipos de criatividade, como artística, científica e artesanal, tendo por isso uma natureza interdisciplinar. Para Stretch et al. (2021) a criatividade é ainda essencial para enfrentar falhas, promover a reflexão e impulsionar a inovação nos processos de resolução de problemas, levando ao desenvolvimento de novas soluções e abordagens.

Thuneberg et al. (2018) referem que na criatividade podem ser consideradas duas dimensões: o ato criativo (*Act*), que envolve atividades como juntar conceitos diferentes,

incorporar soluções anteriores de novas maneiras, fazer conexões entre problemas, imaginar novas soluções e gerar múltiplas ideias e o fluxo criativo (*Flow*), relacionado com o ambiente propício ao desenvolvimento da criatividade. O *Act* envolve o processo de fusão de ideias ou conceitos não relacionados para criar uma ideia nova e inovadora pressupondo a utilização de soluções que foram utilizadas anteriormente, mas adaptando-as de maneiras novas e criativas para enfrentar os desafios atuais. Implica estabelecimento de ligações entre um problema ou tarefa e uma situação relacionada para originar soluções criativas ou insights, imaginando novas soluções, isto é, a tentativa de vislumbrar potenciais soluções de formas únicas e não convencionais, fomentando a inovação. Envolve ainda a geração de múltiplas ideias, promovendo o pensamento divergente. O *Flow* contempla a imersão intensa no trabalho, isto é, o experienciar da perda de noção do tempo, do trabalho sem esforço, com sensação de trabalho fácil. Pressupõe a imersão completa nas tarefas de resolução de problemas (Thuneberg et al., 2018).

Segundo Hathcock et al. (2015), existem vários níveis de criatividade, a “*Big C*” cujas as ideias dão contribuições substanciais para um domínio intelectual e têm um impacto duradouro ao longo do tempo; a “*Little C*” que envolve experiências criativas quotidianas, tais como momentos “aha” de descoberta ou encontrar formas melhoradas de realizar tarefas num contexto específico; a “*Mini C*” que envolve a construção do conhecimento pessoal e da compreensão dentro de um contexto específico, contribuindo para o processo de aprendizagem. Estes autores consideram que a criatividade, aliada ao processo de *design* e ao processo de *inquiry based learning*, é essencial para transformar e traduzir ideias criativas “*mini C*” em produtos criativos do “*Little C*”.

A definição de pensamento criativo do PISA alinha-se com o conceito de “*Little-C*” ou criatividade “pequena”, que está associada à resolução de problemas por parte de pessoas comuns, em oposição ao “*Big C*” que se refere à criatividade revelada por artistas ou cientistas reconhecidos (Filipe et al., 2024). Subjacente a esta definição está a importância de os alunos aprenderem a criar ideias de forma produtiva, a avaliar a sua relevância e novidade e a aperfeiçoá-las até obter um resultado satisfatório (OECD, 2024).

O desenvolvimento da criatividade nos alunos pode ser potenciado pelo “A” de Artes no ensino STEAM (Filipe et al., 2024). Christopoulos et al., (2023) corroboram esta ideia afirmando que as Artes no ensino STEAM estão associadas à melhoria do desempenho académico dos alunos, ao desenvolvimento da sua criatividade, do seu pensamento crítico e das suas capacidades de cooperação. Stretch et al. (2021) acrescentam que a criatividade desempenha um papel vital na Educação Integrada STEAM, fomentando ideias, processos e produtos novos e funcionais através de abordagens iterativas de resolução de problemas. Vital, uma vez que reforça as competências de resolução de problemas, pois fomenta o pensamento inovador e incentiva os alunos a abordarem problemas a partir de diferentes perspetivas, conduzindo a soluções mais

eficazes e únicas, e promove a inovação, permitindo que os indivíduos desenvolvam novas tecnologias, processos e produtos para enfrentar desafios complexos. A criatividade ao ser incorporada na Educação STEAM potencia o desenvolvimento das competências do século XXI, tais como o pensamento crítico, a comunicação, a colaboração e a própria criatividade, preparando os alunos para as futuras exigências da força de trabalho. Stretch et al. (2021) salientam, ainda, o papel desempenhado pela criatividade no processo de aprendizagem ao estimular os alunos a não ter medo de errar, dando importância à falha e ao fracasso como parte do ciclo de resolução de problemas.

Na Educação STEAM a criatividade é vista de uma perspectiva pluralista, enfatizando a importância de explorar vários caminhos, para a fomentar em sala de aula. Nos projetos STEAM a criatividade é promovida através do desenvolvimento de competências cognitivas, traços conativos e da promoção da imaginação, inovação e pensamento divergente em diferentes disciplinas. O conceito de criatividade é visto como omnipresente e plural, enfatizando as suas diversas formas e dimensões que interagem em projetos transdisciplinares, destacando a sua consubstancialidade e pervasividade. Na Educação STEAM, a criatividade promove o desenvolvimento holístico através da promoção de capacidades cognitivas e as múltiplas formas de criatividade, esbatendo as fronteiras entre disciplinas e potenciando uma compreensão complexa da realidade (Lage-Gómez et al., 2024).

Autores com Thuneberg et al. (2018) e Hathcock et al. (2015) referem que a Educação STEAM integra a criatividade como elemento essencial na resolução de problemas, pensamento crítico e atividades baseadas no *design*, promovendo o pensamento inovador entre os alunos. Estratégias de aprendizagem e práticas STEAM servem como patamares para apoiar os alunos na tradução das suas ideias criativas em produtos tangíveis, como já referido anteriormente, potenciando o seu potencial criativo e capacidades de resolução de problemas. Nesta perspectiva, STEAM incentiva os alunos a explorar novas ideias, experimentar soluções e assumir riscos, fomentando uma cultura de criatividade e inovação dentro da sala de aula. Ao utilizar atividades e projetos baseados no *design* os professores contribuem para desenvolver o potencial criativo dos alunos, levando a um aumento das possibilidades criativas e a um envolvimento mais profundo.

Thuneberg et al. (2018) reforçam ainda que a Educação STEAM, ao integrar as Artes com Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, fomenta e potencia ligações interdisciplinares que incentivam o pensamento divergente pois desafia os alunos a explorar múltiplas soluções. Os elementos estéticos da Arte e do *design* expõem os alunos a experiências concretas que promovem a compreensão de conceitos matemáticos, potenciando a criatividade.

Sendo uma das práticas STEAM o *design* de Engenharia, para além do sucesso, o fracasso nestes projetos pode também contribuir para o reforço e promoção da criatividade. Stretch et al. (2021) salientam no seu artigo a importância do fracasso e da falha no processo de ensino aprendizagem. Referem que a falha é uma parte inerente do processo de *design* em projetos de engenharia, onde os primeiros protótipos muitas vezes não cumprem os requisitos de novidade e funcionalidade. Deste modo, a criatividade é essencial para transformar estas falhas em oportunidades de inovação e *designs* mais fortes. Segundo estes autores, o fracasso cria oportunidades para os alunos se envolverem na tomada de decisão e argumentação reflexivas, levando a uma compreensão mais profunda do processo de *design* e potenciais melhorias futuras. Ao lidarem com o fracasso em projetos de engenharia cultiva-se a resiliência e a persistência entre os alunos, incentivando-os a perseverar através de desafios e contratempos, potenciando, em última análise, as suas capacidades de resolução de problemas e criatividade. Ao ver o fracasso como uma oportunidade de aprendizagem em projetos de engenharia pode levar ao desenvolvimento de novas soluções e abordagens inovadoras, estimulando os alunos a pensar criativamente e a explorar caminhos alternativos para o sucesso.

Sintetizando, a Educação STEAM enfatiza o aspeto da criatividade como um fator na criação de um ambiente propício à aprendizagem, uma forma de desenvolver o pensamento criativo e crítico e um pré-requisito para o desenvolvimento de competências de comunicação e colaboração (Christopoulos et al., 2023).

Lage-Gómez et al. (2024) referem que a Educação STEAM e os seus projetos promovem diferentes formas de criatividade, como a criatividade artística, científica, artesanal e interdisciplinar, Figura 2.8.

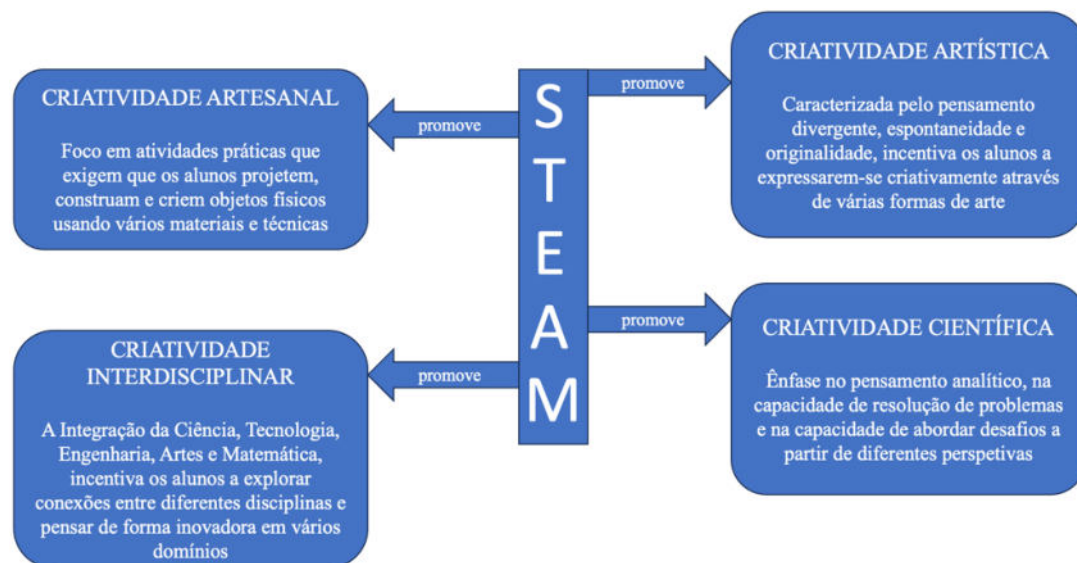


Figura 2.8 - Tipos de criatividade promovidos pelos projetos STEAM, baseado em Lage-Gómez et al. (2024)

Como exposto até ao momento, a criatividade e a Educação STEAM articulam-se e interligam-se de modo consistente, sistemático e interdependente. Importa tomar consciência de como promover esta competência no processo de ensino aprendizagem, uma vez que a criatividade raramente é avaliada como uma componente essencial no ensino STEAM, sendo frequentemente relegada para um plano secundário. Muitos educadores tendem a focar-se no produto final ignorando ou desvalorizando a importância do processo criativo (Perignat et al., 2019).

O modelo de pensamento criativo apresentado e utilizado no estudo PISA sobre a criatividade pode ser um bom ponto de partida para começar a avaliar a criatividade em contexto de sala de aula. Segundo o relatório do PISA (OECD, 2024) o modelo de pensamento criativo apresenta três aspetos distintos, Figura 2.9: Gerar ideias diferentes, isto é, a capacidade de produzir várias ideias diferentes e pertinentes; Gerar ideias criativas, nomeadamente a capacidade de produzir ideias ou de seguir abordagens nas quais poucos pensariam; Avaliar e melhorar as ideias, ou seja, a capacidade de avaliar ideias existentes e de as melhorar ou desenvolver de uma forma que poucos se lembrariam. Assim, o pensamento criativo pode ser avaliado através da demonstração de competências nos domínios da expressão escrita, expressão visual, resolução de problemas científicos e resolução de problemas sociais, podendo este modelo ser aplicado em contexto de sala de aula.

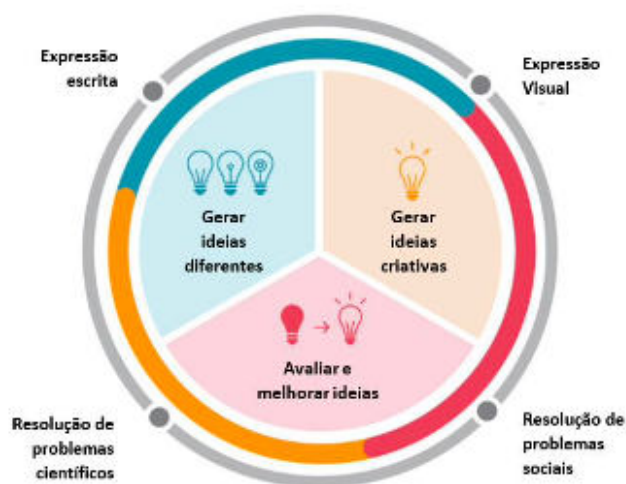


Figura 2.9 - Facetas do pensamento criativo avaliadas no PISA 2022, retirada de IAVE (2024)

Hathcock et al. (2015) recuperam o *framework* proposto por Beghetto (2007) que fornece aos professores um guia prático para facilitar a criatividade no contexto da sala de aula. Neste *framework*, cujo objetivo é possibilitar a transformação de ideias criativas “mini C” em pequenos

produtos criativos, considera-se ser fundamental ouvir todas as ideias dos alunos para incentivar a expressão e a tomada de risco intelectual, auxiliar os alunos a compreender os constrangimentos de uma tarefa para melhorar os seus produtos criativos, possibilitar aos alunos inúmeras oportunidades de traduzirem as suas ideias em produtos, auxiliando no desenvolvimento do potencial criativo e reconhecer e encorajar o potencial criativo.

## **2.6. Vantagens, limitações e críticas da Educação STE(A)M**

Com base no exposto e, mesmo tendo em conta a multiplicidade de conceitos associados ao STEAM, a Educação STEAM integrada tem um potencial enorme no campo educativo. Haja vontade e coragem política para repensar currículos e arrasar fronteiras impostas entre disciplinas. Nesta subsecção apresentam-se algumas vantagens, na perspetiva dos diferentes autores consultados sobre a educação STEAM.

É quase unânime, entre os autores consultados, que a Educação STE(A)M promove as competências do século XXI, conforme referido por Baptista (2023), nomeadamente o pensamento crítico, a criatividade, a comunicação e a cooperação. Contribui ainda para a formação de profissionais nestas áreas que, de algum modo, contribuirão para manter a competitividade dos países ao nível económico e para a procura de soluções para muitos dos problemas globais.

A Educação STEAM pode contribuir para melhorar a literacia global de todos os alunos no futuro, na nova era global, uma vez que são envolvidos de modo significativo, cativante e dinâmico, tendo por base o contexto cultural e experiencial onde estão inseridos (Yakman et al., 2012).

Ao promover-se a integração ao nível multidisciplinar e transdisciplinar o foco da ação são os alunos promovendo a sua atividade cognitiva, a aprendizagem através da investigação, a sua ação independente e a tomada de decisões (Perignat et al., 2019), assim como o pensamento criativo e crítico (Christopoulos et al., 2023).

Na perspetiva de Jamali et al. (2023), o ensino STE(A)M contribui para a aprendizagem dos alunos uma vez que podem explorar a sua criatividade para resolver um problema através de algumas disciplinas. Ao ser aplicado em contexto pode gerar-se a capacidade para os alunos competirem numa nova economia, uma vez que se estabelecem ligações entre a escola e o mundo envolvente, comunidade e trabalho. O ensino orientado para a aquisição de conteúdos e desenvolvimento de competências relacionadas com as disciplinas STE(A)M, acarreta, segundo

Martín-Páez et al. (2019) benefícios cognitivos, processuais e atitudinais para os alunos. Li et al. (2019) acrescentam e reforçam a ideia que este tipo de ensino está posicionado para proporcionar diversas oportunidades para facilitar a aprendizagem dos alunos através do *design* e desenvolver o seu *Design Thinking*.

Através da integração das disciplinas STE(A)M os alunos, de acordo com Martín-Páez et al. (2019) aprofundam a compreensão dos conceitos de contextualização de cada disciplina; alargam a compreensão das disciplinas através da exposição a contextos STE(A)M social e culturalmente relevantes; aumentam o interesse pelas disciplinas STE(A)M à medida que aumentam os canais de acesso dos estudantes aos domínios destas disciplinas. Estes autores referem ainda que a verdadeira Educação STE(A)M permite uma ligação eficaz entre o contexto académico e o contexto real em que se vive, ideia corroborada por Hallström et al. (2023).

English et al. (2015) salientam ainda que, fruto da integração das disciplinas STE(A)M, os alunos melhoram a resolução de problemas, a motivação e positivismo face à aprendizagem, bem como o seu desempenho, em termos de resultados, nas disciplinas, nomeadamente de Matemática e Ciências. As abordagens integradas ao ensino STE(A)M podem promover, de acordo com Hallström et al. (2023, p. 1), “a autenticidade e melhorar a aprendizagem, preparar os alunos para futuras carreiras STE(A)M e percursos de ensino superior, bem como desenvolver as chamadas competências do século XXI, por exemplo, criatividade, inovação, colaboração e capacidades de pensamento crítico.” Jamali et al. (2023) acrescentam que estas abordagens integradas das STE(A)M podem transformar a educação, tornando-a inovadora e inclusiva para a igualdade social e contribuir para o desenvolvimento sustentável. Salientam ainda que têm o potencial de desenvolver STE(A)M. Kelley et al. (2021) corroboram esta ideia e acrescentam como vantagens a exploração de competências e conceitos transversais, a autenticidade das abordagens à Ciência e ao projeto de Engenharia e a transferência das práticas STE(A)M aprendidas para as profissões nestas áreas.

No entanto, autores apontam para a existência de restrições que limitam o sucesso da Educação STEAM integrada, nomeadamente a falta de tempo necessário para implementar plenamente sequências de aprendizagens nesta área, os custos dos projetos, materiais e ferramentas especiais, a falta de um currículo STE(A)M integrado de qualidade, as pressões com as avaliações de fim de curso ou ano, as próprias estruturas escolares existentes, tanto ao nível físico como organizacional, uma vez que foram concebidas para ensinar disciplinas isoladas. A própria formação de professores apela à especialização e compartimentação (Kelley et al., 2021). Aspectos como a ausência de modelos de implementação do ensino STE(A)M integrado no sentido de derrubar barreiras, integrando com sucesso os conteúdos disciplinares aliados à falta de investimento dos professores e das estruturas escolares para que a educação e aprendizagem STEAM se concretize, contribuem para limitar o sucesso deste tipo de Educação.

No entanto, múltiplas e variadas críticas têm vindo a ser apontadas ao STEAM. Estas abrangem vários níveis e domínios, no entanto todos interdependentes. A principal crítica efetuada pela maior parte dos investigadores nesta área é a falta de uma definição clara e objetiva do que é o STE(A)M, sendo fundamental clarificar o conceito Educação STE(A)M (Breiner et al., 2012; Martín-Páez et al., 2019; Perignat et al., 2019), bem como o modo de operacionalização. Perignat et al. (2019) acrescentam que a pedagogia de integração das artes, continua a suscitar muito desacordo. As conceções sobre o que é o STE(A)M e sobre o que implica este movimento, variam frequentemente entre as partes interessadas, desde decisores políticos, professores e educadores, diretores de escolas, alunos e encarregados de educação. Por isso, Breiner et al. (2012) referem que tendo em conta os interesses de todas as partes, provavelmente, será difícil alcançar uma definição comum de Educação STE(A)M.

Uma outra grande crítica apontada é ao nível do currículo escolar. É fundamental repensar e ter a ousadia de reformular os currículos escolares. Li et al. (2019) sugerem que é imperativo que os currículos escolares e o ensino integrem o *design* na aprendizagem dos conteúdos das disciplinas dos alunos, não apenas em engenharia e tecnologia, mas nas outras disciplinas STE(A)M. Estes autores vão mais além quando afirmam que os currículos devem contribuir e fomentar, desde os primeiros níveis de escolaridade, a intuição dos alunos e pensamento de *design*. English (2016) refere que os programas escolares correm o risco de não promoverem uma verdadeira integração das disciplinas. Para além dos currículos é fundamental melhorar as ações estratégicas necessárias para potenciar a integração das disciplinas STE(A)M. Para ser possível uma verdadeira integração STE(A)M tem de haver foco não apenas nas aprendizagens essenciais de cada uma das disciplinas, mas acima de tudo nos “processos interdisciplinares” (English, 2016). Para tal é necessário e fundamental que, na aprendizagem se elimine a barreira existente entre a teoria e a prática, o que conduz, obrigatoriamente, a uma necessidade de reformular currículos e a apostar no desenvolvimento curricular numa perspetiva STEM (Martín-Páez et al., 2019).

Outra discordância que tem sido efetuada no campo da Educação STE(A)M ocorre ao nível da integração e da desproporcional valorização das diferentes disciplinas do acrónimo, em detrimento de outras. English (2016) refere que ao nível de determinados programas de integração STE(A)M, a Matemática e a Engenharia são o “parente pobre”, pois a aprendizagens destas beneficia menos que as das outras disciplinas. Breiner et al. (2012) salientam que continua a existir pouca integração das disciplinas e demonstração de como as STE(A)M são conduzidas e aplicadas no mundo real, o que se traduz na pouca consciência que os alunos têm da importância das STE(A)M na sua vida e no seu dia a dia. Neste sentido, é fundamental perceber quais as disciplinas que estão a ser integradas e o modo como as diferentes formas de integração conduzem aos resultados da aprendizagem dos alunos (English, 2016).

Sanders (2009) refere que pode existir uma má compreensão do papel de cada disciplina, nomeadamente, uma compreensão distorcida do que é a Tecnologia, a maior parte das vezes identificada apenas como computação. Tal facto conduz à crítica da visão tecnocêntrica, referida por Simarro et al. (2021), referindo-se à preocupação com as tecnologias criativas. Estes autores referem ainda que esta abordagem tecnocêntrica se distancia da literacia da Educação STE(A)M para todos.

É fundamental a explicitação objetiva da ligação entre conteúdos STE(A)M sob pena de, ao não ocorrer uma ligação explícita entre os diferentes conteúdos e as disciplinas STEM, ser quase impossível a compreensão da forma como estes são integrados (Martín-Páez et al., 2019). Como English (2016) refere, há necessidade de cultivar competências genéricas, compreensão conceptual profunda e ter consciência na promoção de ligações interdisciplinares significativas.

Para além do modo de integração e do peso diferencial das disciplinas, outro aspeto negativo apontado é a falta de formação dos professores ao nível da Educação STE(A)M. English (2016) afirma que é necessário tornar a ligação das disciplinas STE(A)M transparentes para os professores. Nas escolas dos EUA, apesar da tentativa de implementação de currículos STE(A)M aliada a algum financiamento, em algumas delas não há alteração de estratégias nem inovação nas práticas e os alunos não demonstram mais interesse nos subprojetos STE(A)M, daí uma necessidade de um maior apoio e investimento nesta área (Breiner et al., 2012), nomeadamente uma aposta clara na formação de professores. Na sua investigação, Breiner et al. (2012) referem que muitos dos docentes que conseguiram conceptualizar STE(A)M apenas relacionaram STE(A)M com as disciplinas individuais, o que sugere, deste modo, a ainda grande compartimentação e não articulação, nem integração. Outro aspeto a realçar é a falta de reflexão, por parte dos professores, sobre a natureza integrada das STE(A)M. Deste modo, é necessário e urgente repensar e apostar na formação de professores, nomeadamente no desenvolvimento profissional de professores específicos e na reinvenção de programas de formação de professores, conforme sugere Kelley et al. (2021). Breiner et al (2012) afirmam a este respeito que o modo como as STE(A)M são ensinadas é muito diferente de como são feitas.

A investigação sobre Educação STE(A)M, nomeadamente no âmbito da análise dos resultados de aprendizagem dos alunos (English, 2016), a divulgação de conclusões, as sugestões de operacionalização e partilha de experiências são domínios em que se deve apostar claramente. A aposta na partilha de boas práticas STE(A)M pode ser uma boa solução.

Por fim, uma outra crítica efetuada ao STE(A)M prende-se com a sua natureza. Quinn et al. (2020) referem que existem autores que consideram existir uma natureza das STEAM, segundo os quais as disciplinas STEAM são hierárquicas e mantidas juntas com a criatividade e a riqueza das Artes. Estas e a Engenharia, fornecem contexto à Ciência e à Tecnologia alicerçadas na

Matemática. No entanto para Quinn et al. (2020) o modelo proposto por Yakman (2008) não reconhece a criatividade e a riqueza histórica das disciplinas individuais isoladas (ou seja, os cientistas e os matemáticos são criativos e socioculturalmente integrados também fora da arte). Por conseguinte, a integração das artes pode não ser necessária quando se investiga a natureza das STEM. Outra crítica apontada por Quinn et al. (2020) é que o modelo não tem em conta a integração da natureza do conhecimento e da investigação.

Em síntese, é fundamental clarificar o que se entende por Educação STE(A)M, promover uma verdadeira integração equitativa das diferentes disciplinas, apostar na investigação nesta área, bem como na formação de professores e na reformulação curricular.

Não há ainda, na realidade e no contexto português, uma forte e generalizada aposta na Educação STE(A)M. Mas é urgente esta aposta. Há que repensar o currículo e torná-lo uma aposta para o século XXI, através da promoção e valorização de competências como as inerentes ao processo investigativo, resolução de problemas, *design*, pensamento crítico, criatividade e inovação, bem como um forte enfoque no conhecimento transdisciplinar.

---

## 3. Capítulo

---

### Metodologia

No presente capítulo apresenta-se a metodologia utilizada no presente contexto investigativo e fundamenta-se o *design* do estudo. Está organizado em seis secções onde é efetuada uma fundamentação metodológica, uma caracterização do agrupamento e dos alunos participantes no estudo e a apresentação da sequência didática, com respetivo enquadramento curricular. Nas últimas secções apresentam-se os métodos de recolha de dados, com respetiva fundamentação, expõem-se o modo como vai ser efetuada a análise dos mesmos, com a definição das categorias de análise e apresentam-se as questões éticas consideradas. Todos os anexos, tabelas e figuras relativos a esta parte têm o prefixo 3.

#### 3.1. Fundamentação Metodológica

O presente estudo procura expandir o corpo de conhecimentos relacionado com a Educação STEAM e dar resposta a dois objetivos de investigação: i) analisar o desenvolvimento do processo de *Design Thinking* dos alunos quando envolvidos numa sequência didática STEAM; ii) conhecer a criatividade dos alunos e a sua relação com o processo de *Design Thinking*, quando envolvidos numa sequência didática STEAM.

Neste sentido, para responder aos objetivos definidos é usada uma investigação qualitativa, com principal foco na compreensão do contexto, significado e experiências dos indivíduos ou grupos através da recolha e análise de dados não numéricos, como produções escritas, entrevistas, observações e narrativas. Esta abordagem é usada para obter uma compreensão mais detalhada das experiências e perceções participantes, incluindo uma amostragem intencional e recolha de dados aberta (Creswel & Creswell, 2018).

No contexto da educação, a investigação qualitativa pode explorar como os estudantes percebem e vivenciam a aprendizagem, fornecendo informações detalhadas sobre seus comportamentos, atitudes e interações (Patton, 2002).

Na metodologia qualitativa, o investigador desempenha um papel crucial na reflexão, recolha de dados, registo, análise, interpretação e garantia da validade e fiabilidade dos resultados (Creswell & Creswell, 2018).

Esta abordagem permite uma análise abrangente dos contributos educativos da implementação de uma sequência didática STEAM, enriquecendo a compreensão sobre o processo de *Design Thinking* e sobre a criatividade dos alunos.

## **3.2. Participantes**

O presente trabalho é desenvolvido num agrupamento de escolas da grande Lisboa, localizado no concelho de Loures. Este agrupamento tem todos os níveis de ensino, desde o pré-escolar até ao 12.º ano de escolaridade. É composto, para além da escola sede onde se desenvolve o estudo, por mais uma escola básica dos 2.º e 3.º ciclos e três escolas básicas do 1.º ciclo, duas delas com jardim de infância. A escola sede é constituída por oito pavilhões, sendo um deles um pavilhão gimnodesportivo. Distribuídos pelos pavilhões, a escola dispõe de biblioteca escolar, espaços para as artes, salas de ciências com um biotério, laboratórios de física e química, salas de informática, sala de audiovisuais, um espaço para o teatro, gabinete do serviço de psicologia e orientação / educação especial, papelaria, bar e refeitório.

No ano letivo anterior ao estudo, 2022/2023, frequentavam o agrupamento cerca 2700 alunos, sendo que aproximadamente 20% usufruía de apoio no âmbito da ação social escolar. É um agrupamento no qual a população estudantil apresenta alguma diversidade social e económica, tal como referido no projeto curricular do agrupamento em que se refere claramente que numa das freguesias situa-se uma urbanização de elevada densidade populacional e cujos seus habitantes são pertencentes a um estrato sociocultural médio e médio alto. Fazendo ainda parte desta freguesia, bairros periféricos, onde confluem populações de etnias e religiões diversas. A outra freguesia apresenta um estrato populacional médio-baixo, onde residem um número considerável de emigrantes dos países do leste da Europa e do Brasil.

### **3.2.1. A turma**

O trabalho é desenvolvido, com uma turma do 12.º ano, no âmbito da “disciplina” Espaço Saber +. Esta turma, turma híbrida, é formada por alunos de dois cursos diferentes: 12 alunos de Ciências e Tecnologias, cujas disciplinas de opção são Geologia e Aplicações Informáticas e 18 alunos de Artes Visuais, cujas disciplinas de opção são Oficina de Artes e Aplicações Informáticas. São 30 alunos, dos quais 15 são rapazes, 7 de Ciências e Tecnologias e 8 de Artes Visuais, e 15 raparigas, 5 de Ciências e Tecnologias e 10 de Artes Visuais. A turma não tem alunos repetentes e tem uma média de idades de 17 anos, 22 alunos têm 17 anos, 5 alunos têm 18 anos e 3 alunos têm 16 anos.

Relativamente aos alunos abrangidos pelas medidas preconizadas pelo Decreto-Lei n.º 54/2018, de 6 de julho, sete estão abrangidos por medidas universais e um aluno com medidas seletivas e adicionais de suporte à aprendizagem e à inclusão. São alunos, em geral, participativos e interessados. Alguns alunos revelam falta de responsabilidade, interesse, trabalho e empenho na realização das tarefas, assim como falta de pontualidade. Demonstram algumas dificuldades em trabalhar em grupo e a serem eficazes na rentabilização do tempo de aula. Em termos de aproveitamento é uma turma heterogénea.

Sendo uma turma híbrida, o Espaço Saber + envolve as três disciplinas de opção: Geologia, Oficina de Artes e Aplicações Informáticas, como será exposto mais adiante.

Previamente à implementação da sequência didática, foram desenvolvidos outros projetos interdisciplinares. O primeiro consistiu na criação de um Museu Virtual, com a exposição intitulada de “Geologia, Arquitetura, Arte e Tecnologia – Os tesouros escondidos do Cais do Sodré ao Rato”; o segundo consistiu na realização de um filme, cuja apresentação foi efetuada no final do ano letivo.

### **3.3. Sequência Didática**

Esta sequência didática foi concebida no âmbito de um projeto de investigação mais amplo, coordenado pela Universidade de Freiburg da qual o Instituto de Educação da Universidade de Lisboa é parceiro. Trata-se de um projeto financiado pela União Europeia – ICSE Science Factory que tem como objetivo o desenvolvimento de sequências didáticas STEM (*Openschooling Activities*) e a avaliação dos seus efeitos nas aprendizagens, interesse pela ciência e pelas aulas de ciências dos estudantes, bem como na sua intenção de seguirem carreiras científicas.

Sendo uma das premissas deste trabalho explorar como a Educação STEAM pode influenciar a aprendizagem dos alunos, foi selecionado o tema “Terra ontem, hoje e amanhã”, do domínio do Geologia do 12.º ano de escolaridade, para enquadrar a sequência didática, a aplicar na disciplina de Saber +. Desta forma, é efetuado um enquadramento curricular e, posteriormente, uma apresentação da proposta didática utilizada.

#### **3.3.1. Enquadramento curricular**

O prefácio do perfil dos alunos à saída da escolaridade obrigatória (PASEO) reforça a importância de, perante a diversidade que nos rodeia e o mundo em constante mudança, ser fundamental criar condições de equilíbrio entre o conhecimento, a compreensão, a criatividade e

o sentido crítico, bem como contribuir para a formação de pessoas autónomas e responsáveis e cidadãos ativos (DGE, 2017). No sentido de responder a esta ambição, neste referencial são apresentados os princípios pelos quais se deve orientar toda a prática educativa, a visão do que é pretendido que os alunos adquiram no final da escolaridade obrigatória, bem como definidas as áreas de competência e valores que se devem promover e desenvolver em todos os alunos.

De acordo com o PASEO (DGE, 2017, (p.13) “o saber está no centro do processo educativo”. A escola tem como missão fornecer aos alunos a cultura científica que permita a compreensão, tomada de decisões e intervenções sobre as realidades naturais e sociais no mundo. O conhecimento deve ser o sustento da ação. Assim como o saber, a aprendizagem “é essencial no processo educativo” e a escola deve promover e contribuir para o desenvolvimento desta “capacidade de aprender” ao longo da vida. Este documento é claro quando refere que se pretende que um aluno no final da escolaridade obrigatória seja um cidadão “munido de múltiplas literacias que lhe permitam analisar e questionar criticamente a realidade, avaliar e selecionar a informação, formular hipóteses e tomar decisões fundamentadas no seu dia a dia, seja capaz de lidar com a mudança e com a incerteza num mundo em rápida transformação e que reconheça a importância e o desafio oferecidos conjuntamente pelas Artes, pelas Humanidades e pela Ciência e a Tecnologia para a sustentabilidade social, cultural, económica e ambiental de Portugal e do mundo, entre outros” (DGE, 2017, p.15).

O projeto curricular de agrupamento, operacionalização e concretização do projeto educativo, refere claramente que se “pretende propiciar a inovação pedagógica, a aprendizagem ativa e criativa, a autonomia, o trabalho colaborativo, a avaliação pedagógica, a inclusão, estimulando os 4C’s: Comunicação, Pensamento Crítico, Criatividade e Colaboração.” Este mesmo documento expõe claramente as diferentes apostas e opções organizativas/curriculares nos diferentes níveis de escolaridade entre as quais a criação do Espaço Saber +.

No Ensino Secundário, para o ano letivo 2023/2024, o Espaço Saber +, no 12.º ano é assegurado pelos professores das disciplinas de opção. Pretende-se que seja um espaço de “interseção de aprendizagens das diferentes disciplinas envolvidas, visando a exploração de percursos pedagógico-didáticos, em que se privilegia o trabalho prático e/ou experimental e o desenvolvimento das capacidades de pesquisa, relação e análise” (PCA). O Espaço Saber + é parte integrante das disciplinas de opção. Deste modo, todo o trabalho desenvolvido está relacionado com os conteúdos das mesmas e avaliado nas próprias disciplinas. Este espaço tem uma carga horária de 2 tempos letivos, em co-docência. Relativamente ao espaço Saber + há a necessidade de uma articulação e planificação constante entre os docentes envolvidos, e reformulação constante da mesma, bem como a criação de instrumentos de avaliação e de registo, comuns às disciplinas envolvidas.

A sequência didática é aplicada no Espaço Saber + que, na turma em questão, envolve as três disciplinas de opção: Geologia, Oficina de Artes e Aplicações Informáticas.

A disciplina de Geologia de 12.º ano é uma disciplina de opção da formação específica do curso científico-humanístico. Apresenta três grandes domínios “Da Teoria da Deriva dos Continentes à Teoria da Tectónica de Placas”, “A história da Terra e da Vida” e “A Terra ontem, hoje e amanhã” (Direção-Geral da Educação, 2018). O aprofundamento das temáticas da Geologia no 12.º ano visa permitir aos alunos, para além de outras, compreender metodologias de trabalho utilizadas pelos seus especialistas, assim como mobilizar saberes para regular decisões relativas à utilização sustentada dos recursos geológicos do planeta Terra e à interação saudável com os ecossistemas, num exercício de cidadania responsável e sensibilização ambiental. Visa ainda ajudar os alunos a desenvolverem o espírito crítico e a criatividade. Tal como é categoricamente exposto nas aprendizagens essenciais da disciplina de Geologia de 12.º ano “a dimensão interdisciplinar afigura-se fundamental para a concretização das aprendizagens essenciais por domínio desta disciplina” (DGE, 2018, p.2). Continua ainda este documento por referir: “também as estratégias de ensino e avaliação devem ser pensadas de forma intencional e integrada, tendo em conta as aprendizagens essenciais preconizadas para a disciplina de Geologia neste ano de escolaridade e as áreas de competências do PASEO que se pretendem desenvolver”.

De acordo com as aprendizagens essenciais de Aplicações Informáticas B, disciplina de opção da formação específica do curso científico-humanístico de Ciências Socioeconómicas, de Línguas e Humanidades e de Artes Visuais, esta deve concorrer “não apenas nos domínios do Saber científico, técnico e tecnológico, das Linguagens e textos, da Informação e comunicação e do Raciocínio e resolução de problemas, mas igualmente ao nível do Pensamento crítico e do pensamento criativo, da Sensibilidade estética e artística, do Relacionamento interpessoal e do Desenvolvimento pessoal e autonomia”(DGE, 2018a, p.1).

Na disciplina de Oficina de Artes, “a transdisciplinaridade e a multimodalidade devem ser o eixo basilar nesta disciplina e deve apresentar uma componente experimental, baseada no pensamento, expressão e projeto, onde o processo deve ser valorizado” (DGE, 2018b, p.1). Nesta disciplina e de acordo com as aprendizagens essenciais definidas pretende-se valorizar projetos de trabalho ao nível da turma, recorrendo a temas transversais onde sejam integrados temas de várias disciplinas por forma a promover uma cidadania ativa, responsável e consciente bem como promover o desenvolvimento do espírito crítico, de inquérito e capacidades de ação numa perspetiva de resolução de problemas e de sustentabilidade futura.

### 3.3.2. Apresentação e descrição da sequência didática

Esta sequência didática tem como pano de fundo o tema: A Terra ontem, hoje e amanhã, um dos domínios da disciplina de Geologia de 12º ano. Implementada no espaço Saber +, conjuga as aprendizagens essenciais das três disciplinas envolvidas, num processo de interdisciplinaridade ou mesmo transdisciplinaridade. É uma sequência concebida no domínio da Educação STEAM, tendo por base o *Design Thinking* e o modelo I-STEM proposto por Thibaut et al. (2018), com enfoque na aprendizagem sobre digitalização no contexto das alterações climáticas levando os alunos a questionar sobre o impacto das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na saúde humana ao que se acrescenta a componente artística.

Ao utilizar novas tecnologias, como Micro:bits e sensores de CO<sub>2</sub>, os alunos têm a possibilidade de medir os níveis de CO<sub>2</sub> em diferentes locais e de desenvolver um protótipo de um sensor de CO<sub>2</sub> portátil. Durante o processo, possibilita-se aos alunos a aquisição de conhecimentos básicos de programação e aprendizagem sobre a utilização da tecnologia (Micro:bit) como uma ferramenta para monitorizar os níveis de CO<sub>2</sub> e visualização dados.

Com esta sequência didática pretende, assim, promover-se as seguintes competências essenciais transversais e específicas nas diferentes disciplinas, como consta na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Competências essenciais transversais e específicas nas diferentes disciplinas envolvidas no Saber +.

	<b>Domínio</b>	<b>Competências essenciais transversais</b>	<b>Competências essenciais específicas</b>
<b>Geologia</b>	A Terra ontem, hoje e amanhã	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selecionar e organizar informação.</li> <li>• Construir explicações científicas baseadas em conceitos e evidências científicas, obtidas através da realização de atividades de investigação prática (...) planeadas para responder a problemas.</li> <li>• Construir modelos e/ou protótipos</li> <li>• Aplicar as competências desenvolvidas em problemáticas atuais e em novos contextos.</li> <li>• Formular e comunicar opiniões críticas (...).</li> <li>• Articular conhecimentos de diferentes disciplinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discutir a possível relação entre as atividades antropogénicas e as mudanças ambientais.</li> <li>• Elaborar e apresentar um artigo científico ou póster sobre mudanças ambientais ocorridas ao longo da História da Terra, valorizando saberes de outras disciplinas.</li> <li>• Planificar e realizar atividades práticas que permitam encontrar formas de conciliar o desenvolvimento da região com a preservação dos recursos geoambientais e/ ou sustentabilidade ambiental.</li> <li>• Inferir sobre possíveis cenários para o século XXI, como consequência do aquecimento global e de mudanças ambientais.</li> </ul>
<b>Oficina de Artes</b>	Interpretação e comunicação		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicar, utilizando discursos multimodais recorrendo a técnicas variadas;</li> <li>• Interpretar a multiplicidade de respostas das artes visuais na contemporaneidade;</li> <li>• Interpretar vivências de modo a construir narrativas que se podem concretizar nas variadas áreas da produção artística contemporânea;</li> </ul>
	Experimentação e criação		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipular com intencionalidade os diferentes processos artísticos;</li> <li>• Dominar as diferentes fases metodológicas de desenvolvimento de um projeto, nas diversas áreas em estudo;</li> <li>• Intervencionar criticamente, no âmbito da realização plástica, na comunidade em que está inserido;</li> <li>• Elaborar discursos visuais informados e criativos utilizando metodologias de trabalho faseadas;</li> <li>• Romper limites para imaginar novas soluções;</li> <li>• Experimentar materiais, técnicas e suportes com persistência;</li> <li>• Concretizar projetos artísticos temáticos individuais e de grupo partindo do desenho;</li> <li>• Dinamizar intervenções artísticas colaborativas no âmbito da cidadania e da sustentabilidade pessoal, social e ambiental;</li> <li>• Apresentar publicamente um portefólio de produto em forma digital e física;</li> </ul>
<b>Aplicações Informáticas</b>	Introdução à programação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar uma linguagem de programação imperativa codificada para elaborar programas simples.</li> <li>• Identificar e utilizar diferentes tipos de dados em programas.</li> <li>• Reconhecer diferentes operadores aritméticos, lógicos, relacionais e respetivas regras de prioridade.</li> <li>• Desenvolver programas que incluam estruturas de controlo de seleção e estruturas repetitivas com vista à resolução de problemas de baixa complexidade e utilizar funções em programas.</li> </ul>	

Em síntese, e tendo em conta os resultados de aprendizagem esperados na proposta didática base pretende-se que os alunos se envolvam em investigações, promovendo uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos. Desta forma contribuir para o desenvolvimento de literacia tecnológica e competências de pensamento computacional dos alunos através da codificação e integração de sensores. O pensamento crítico e a resolução de problemas também serão resultados de aprendizagem esperados, uma vez que esta atividade incentiva o pensamento crítico à medida que os alunos analisam os valores de CO<sub>2</sub>, fazem observações e tiram conclusões sobre as relações entre a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> e a qualidade do ar em diferentes locais, como espaços verdes e áreas urbanas. Através da resolução de problemas e testagem, pretende-se o desenvolvimento da capacidade de resolução de problemas. Esta atividade de investigação também permite que os alunos desenvolvam a sua criatividade e *design* através da construção de um protótipo (ICSE Science Factory, 2024).

A presente sequência permite a apela ao desenvolvimento dos valores preconizados no PASEO, nomeadamente a responsabilidade e integridade, pois implica por parte dos alunos envolvidos uma ética e ponderação das ações em detrimento do bem comum, a excelência e exigência, pois pretende-se que os alunos aspirem ao trabalho com rigor e superação, a curiosidade, reflexão e inovação, uma vez que os alunos são interpelados ao desenvolvimento do pensamento reflexivo, crítico e criativo e procurem novas soluções e aplicações, e finalmente a cidadania e participação, pois apela-se à procura de soluções no âmbito da sustentabilidade ecológica, podendo e devendo tomar a iniciativa rumo ao empreendedorismo.




## Sequência didática

Apresenta-se de seguida uma breve síntese da sequência didática, tendo por base a concebida pelo *ICSE Science Factory* intitulada: *New age reseacher* – monitorização dos níveis de dióxido de carbono. Esta é desenvolvida recorrendo ao trabalho colaborativo. Deste modo são formados 5 grupos híbridos, com 3 ou 4 alunos de artes visuais e 3 ou 2 alunos de ciências e tecnologias, com 6 elementos cada.

A sequência didática, é desenvolvida em 12 tempos letivos de 50 minutos, compreende um conjunto de 5 etapas, abrangendo diferentes atividades, em que o *Design Thinking* atua como o eixo organizador, tal como se apresenta Tabela 3.2 onde estão expressas as etapas de *Design Thinking* previstas e o respetivo número de aulas, a duração, atividades e finalidades.

A planificação da sequência didática com as respetivas atividades, encontra-se no anexo III.

Tabela 3.2– Planificação da sequência didática sintetizada

Tabela 3.2	Duração	Etapas e atividades	Finalidades	Etapas do <i>Design Thinking</i> previstas
1ª e 2ª	100 min	<b>Etapa 1</b> - Pesquisar e imergir na temática em análise através da exploração das causas e consequências do aumento CO <sub>2</sub> e os limiares de concentração no ar interior.	Sensibilizar para a importância de conhecer a concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico, perceber as causas e as consequências do seu aumento para a saúde humana. Incentivar os alunos a investigar um problema real, ligado à sustentabilidade.	 <i>Problem scoping</i>
3ª e 4ª	100 min	<b>Etapa 2</b> – Configurar e programar sensores de CO <sub>2</sub>	Abordar conceitos básicos de programação e utilização da tecnologia (Micro:bit) como ferramenta para monitorizar os níveis de CO <sub>2</sub> e a visualização de dados.	
5ª à 8ª	200 min	<b>Etapa 3</b> – Planear, desenvolver e criar um protótipo para medir a concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico	Planificar e criar um protótipo de uma estrutura portátil, para o sensor de CO <sub>2</sub> e Micro:bit, que seja transportável, robusta, criativa que permita a visualização de dados.	 <i>Brainstorming and planning</i>   <i>Design and construct</i>
Durante a semana		<b>Etapa 4</b> – Testar, recolher dados e avaliar o protótipo concebido	Testar o protótipo concebido, através da recolha de dados, e avaliar a sua funcionalidade e adequação face à finalidade a que se destina.	
9ª à 12ª	200 min	<b>Etapa 5</b> – Melhorar o protótipo. Analisar, refletir e comunicar	Introduzir eventuais melhorias no protótipo. Responder ao problema inicial, num exercício de metacognição, analisar, refletir e comunicar sobre o processo de aprendizagem efetuado.	 <i>Redesign and improvement</i>

Na presente sequência o processo de *Design Thinking*, que tem por base o definido por English e King (2015) e apresentado no capítulo 2, encontra-se articulado com os cinco pilares do modelo de Thibaut para a educação I-STEM no sentido de promover uma aprendizagem ativa e reflexiva. Na etapa de *Problem scoping*, a imersão na problemática em estudo está ligada à aprendizagem baseada no *inquiry*, onde os estudantes investigam questões iniciais e contactam com problemas relacionados com as temáticas propostas, sustentabilidade e a digitalização, conduzindo ao desenvolvimento de um processo investigativo essencial à aprendizagem (Bybee, 2013). Na etapa *Brainstorming e planning*, explora-se a integração dos conteúdos STE(A)M, incentivando os estudantes a propor soluções inovadoras, aplicando o pensamento crítico e criativo através da exploração de diversas perspetivas e conteúdos disciplinares (English, 2016). Na etapa de *Design and construt*, os estudantes concretizam as suas ideias, integrando a aprendizagem baseada no *design*, ao testarem, ajustarem e iterarem as soluções, numa articulação permanente entre a teoria à prática (Thibaut et al., 2018a). Nas etapas *Design evaluation e Redesign and improvement*, os protótipos são experimentados e ajustados, promovendo a aprendizagem baseada na resolução de problemas, avaliando e refinando as soluções através do feedback (Allen, Donham e Bernhardt, 2011). Ao longo da implementação da sequência didática e no final da implementação da mesma, os alunos refletem sobre os resultados obtidos, desenvolvendo competências de pensamento crítico e colaborativo, discutindo em grupo o impacto das suas soluções. As Artes estão integradas no processo criativo ao longo de todas as etapas, de modo holístico (Yakman, 2008), de uma forma mais concreta no *Brainstorming and planning*, na criação dos protótipos e no *Redesign and improvent*.

Para iniciar a abordagem ao tema estudo e à implementação desta sequência efetua-se uma breve contextualização sobre a relação entre os elevados níveis de dióxido de carbono e outros gases com efeito estufa e a alteração dos padrões climáticos globais, refletindo sobre o modo como estas alterações afetam todo ecossistema Terra. Pretende-se a reflexão sobre os efeitos do aumento deste gás na qualidade de vida e na saúde humana nas cidades, espaços e indivíduos. Posteriormente os alunos formulam um problema, que se constitui como estruturante para todas as aulas seguintes, semelhante ao definido na atividade original:

Como podemos saber se o ar que respiramos na escola, nas suas imediações e durante a deslocação entre a escola e a casa é de boa qualidade em termos de concentração de CO<sub>2</sub>?

### 3.4. Recolha de dados

Para dar resposta aos objetivos de investigação opta-se por uma abordagem qualitativa, conforme referido anteriormente, uma vez que a maioria dos dados são descritivos. Os instrumentos de recolha de dados de investigação qualitativa incluem frequentemente vários métodos descritivos que captam informação rica e detalhada. Estes podem incluir vídeos, notas de campo, fotografias e entre outros, permitindo aos investigadores analisar dados na sua forma original sem reduzi-los a símbolos numéricos (Bogdan & Biklen, 1998).

Neste estudo são utilizados diferentes instrumentos nomeadamente: i) produções escritas dos alunos; ii) observação; iii) fotografias.

#### i) Produções escritas dos alunos

As produções escritas são registos escritos realizados pelos sujeitos em estudo, imutáveis, que podem ser que consultadas e utilizadas em diferentes momentos temporais e em diferentes contextos (Bogdan & Biklen, 1998). As produções escritas fornecem valiosas informações sobre a compreensão dos alunos, processos de pensamento e retenção de conhecimento. Potenciam as suas capacidades de investigação, capacidade de pensamento crítico e capacidade de articular ideias de forma eficaz. Através do processo de criação de produções escritas, os alunos são incentivados a refletir sobre a sua própria aprendizagem, conduzindo a uma compreensão mais profunda e desenvolvimento metacognitivo (Creswell & Creswell, 2018). Para além da melhoria de resultados de aprendizagem contribuem para a melhoria do envolvimento dos alunos (Allen et al., 2011). Além do mais, possibilitam ao investigador um registo documentado do progresso do aluno ao longo do tempo, permitindo uma análise longitudinal do desenvolvimento e aperfeiçoamento de várias competências (Creswell & Creswell, 2018). Face ao exposto, no contexto deste estudo, é solicitado aos alunos que durante a implementação de toda a sequência didática efetuem produções escritas, aos mais variados níveis, nas quais se incluem textos, desenhos, cartazes,... e as guardem, tal como contemplado na planificação que consta no anexo III.

#### ii) Observações

As observações numa investigação qualitativa são uma técnica fundamental para a recolha de dados, permitindo aos investigadores captar diretamente, em tempo real, as interações, comportamentos e o ambiente social ou físico num determinado contexto, possibilitando a compreensão de como os indivíduos reagem uns aos outros no seu ambiente natural (Creswell & Poth, 2018). O objetivo principal é recolher informações ricas e detalhadas sobre como as pessoas agem e interagem, assim como as suas perceções e práticas, em situações naturais e não

controladas. Isto pode proporcionar uma compreensão profunda das dinâmicas do fenómeno em estudo, que muitas vezes não é possível capturar apenas através de outros instrumentos de recolha de dados, nomeadamente questionários ou entrevistas, onde as respostas podem ser influenciadas por fatores, como o factor social (Patton, 2015). As observações podem ser usadas para triangulação de dados, ajudando a verificar ou complementar informações recolhidas através de outros métodos, como entrevistas (Denzin & Lincoln, 2011). Angrosino, M. (2007) acrescenta ainda que a observação permite a captura de detalhes contextuais, isto é, uma visão mais rica do contexto social e físico, captando aspetos subtis como linguagem corporal, expressões emocionais e a disposição do espaço, que podem influenciar a dinâmica social.

Evans et al., (2014) referem que através da observação, que permite analisar o trabalho e as interações dos alunos, os professores podem compreender melhor a dinâmica dentro das tarefas de *design* de engenharia e adaptar as suas respostas para apoiar a aprendizagem dos alunos de forma eficaz.

A observação pode ser direta, se envolve a recolha de dados em primeira mão através da observação dos alunos no seu ambiente natural, fornecendo *insights* em tempo real sobre comportamentos e interações, ou indireta, se utiliza fontes secundárias ou dados existentes para inferir comportamentos ou resultados. A observação direta permite aos investigadores recolher informação rica e detalhada através do envolvimento pessoal e experiências sensoriais diretas. A observação indireta envolve a análise de documentos, registos ou artefactos para tirar conclusões sobre fenómenos sem interação direta com os sujeitos, permitindo a recolha e análise retrospectiva de dados (Creswell & Creswell, 2018). A observação direta em investigação qualitativa pode ser participante ou não-participante. Na observação participante, o investigador integra-se no ambiente que está a estudar, o que permite uma compreensão mais profunda das dinâmicas sociais e culturais. No entanto, a presença do investigador pode influenciar o comportamento dos participantes, algo que precisa de ser considerado. Já na observação não-participante, o investigador mantém-se à margem, registando o que observa sem interferir, o que pode reduzir o impacto da sua presença, mas ao custo de uma menor imersão no contexto.

Assim, neste estudo opta-se por realizar os dois tipos de observação direta: participante, uma vez que o investigador é um dos professores que leciona a disciplina de Saber +, sendo um sujeito ativo e interveniente no processo de aprendizagem; e não participante, expresso na presença de um investigador externo ao contexto de sala de aula, cuja função é registar, em notas de campo, os resultados da sua observação. Esta observação não participante é efetuada de forma não-estruturada, onde o investigador *in loco*, decide as notas e os detalhes que considera relevantes para responder aos objetivos de investigação (Bogdan & Biklen, 1998).

A observação indireta é também um campo de recolha de dados implementado, através da observação e visualização dos registos vídeos efetuados ao longo da implementação da sequência didática e no final da mesma. Para o vídeo final, os alunos são convidados a planear e realizar uma reportagem, num exercício metacognitivo de análise, reflexão e comunicação, sobre o processo percorrido, cuja estrutura consta como parte integrante da planificação efetuada (anexo III). Este registo também constitui um elemento de observação indireta.

### iii) Fotografias

A investigação qualitativa utiliza frequentemente imagens, dados descritivos, para captar a riqueza da experiência humana. Os investigadores podem incorporar fotografias, filmes e outros materiais visuais para melhorar a sua compreensão das perspetivas dos participantes e dos contextos em que os comportamentos ocorrem (Bogdan & Biklen, 1998).

O uso de dados visuais permite uma interpretação mais matizada dos fenómenos sociais, uma vez que pode revelar detalhes que podem ser negligenciados em dados puramente textuais (Bogdan & Biklen, 1998). Adicionalmente, os investigadores qualitativos enfatizam a importância da criação de significado, que pode ser ilustrada através de representações visuais que refletem as experiências vividas e interpretações dos participantes (Bogdan & Biklen, 1998; Creswell & Creswell, 2018). Assim, as imagens servem como uma ferramenta vital na investigação qualitativa, proporcionando profundidade e contexto às narrativas construídas a partir das interações e *insights* dos participantes. Nesta investigação as fotografias, nomeadamente as retiradas ao desenvolvimento do trabalho pelos alunos e aos protótipos finais constituem-se como evidências do processo realizado.

Em síntese, as produções escritas dos alunos, as observações diretas, efetuadas pelo investigador participante e pelo investigador não participante e as suas notas de campo, a observação indireta dos registos vídeo, juntamente com as fotografias, irão permitir uma triangulação que no sentido de garantir a validade e fiabilidade dos resultados tal como proposto por Creswell & Creswell (2018) e Cohen et al., (2007). No entanto, a triangulação é considerada por outros autores não como validação, mas antes como uma alternativa à validação, para que os dados sejam credíveis (Denzin & Lincoln, 2011).

## 3.5. Análise dos dados

Na presente investigação qualitativa opta-se, como forma de analisar os dados, pela análise de conteúdo. Esta técnica de investigação é utilizada para analisar sistematicamente o conteúdo de várias formas de comunicação, tais como dados escritos, verbais ou visuais, para

extrair *insights* significativos e identificar padrões. Visa essencialmente descobrir temas subjacentes, tendências ou relações dentro dos dados, proporcionando ao investigador uma abordagem estruturada para interpretar e compreender a informação que está a ser analisada. A análise de conteúdo envolve a codificação e categorização de dados com base em critérios pré-definidos ou temas emergentes, permitindo uma análise quantitativa ou qualitativa em função dos objetivos da investigação. A análise de conteúdo pode proporcionar ao investigador flexibilidade na análise de dados em diferentes níveis de profundidade (Creswell & Creswell, 2018). Esta técnica destaca o papel central e dinâmico do investigador na interpretação dos dados e no regresso ao contexto para validação (Amado, 2014).

A análise de conteúdo pode focar-se no conteúdo observável, a nível superficial dos dados, envolvendo a codificação sistemática e categorização de elementos explícitos presentes na comunicação ou trabalhar com significados subjacentes, interpretações ou implicações dos dados, exigindo que o investigador analise e interprete o conteúdo implícito para além do que é explicitamente declarado (Creswell & Creswell, 2018). Assim, a análise de conteúdo pode ser vista como uma forma de produzir significados e criar realidades e não simplesmente refletir a realidade social (Amado, 2014).

Pode considerar-se a possibilidade de efetuar uma análise quantitativa de conteúdo, envolvendo a contagem ou medição objetiva e sistemática de elementos de conteúdo, permitindo ao investigador quantificar padrões, frequências ou relações dentro dos dados ou uma análise qualitativa de conteúdo, dando maior ênfase à interpretação subjetiva e à compreensão aprofundada dos conteúdos, com foco na identificação de temas, conceitos ou narrativas presentes nos dados (Creswell & Creswell, 2018).

Amado (2014) refere que a análise de conteúdo pode ser retratada como um ofício que exige que os investigadores misturem qualidade científica, qualidade estética e conhecimento experiencial, incorporando o papel de um artesão intelectual que refina continuamente as suas competências e *insights* ao longo da sua investigação. Assim, a análise de conteúdo envolve a redução de um grande corpo de informação recolhida pelo investigador para lhe dar sentido, sendo esta redução essencial para a interpretação dos dados de forma eficaz (Bryman, 2016).

No presente trabalho, importa salientar que a unidade de análise considerada, para responder aos objetivos da investigação, é o grupo.

Na tentativa de responder ao primeiro objetivo de investigação, analisar o desenvolvimento do processo de *Design Thinking* dos alunos quando envolvidos numa sequência didática STEAM será utilizado o modelo “*STEM learning through engineering design: fourth-grade students’ investigations in aerospace*” (English & King, 2015) já amplamente discutido no capítulo 2, subcapítulo 2.4. e que considera as seguintes etapas, como ilustra a Figura 3.1.

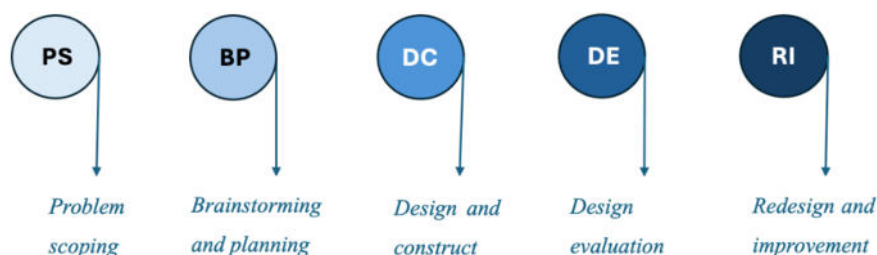


Figura 3.1 - Etapas do *Design Thinking* baseadas no modelo de English & King (2015)

Estas etapas constituem-se como categorias de análise e, na Tabela 3.3 estão clarificados os aspetos a analisar e que caracterizam ou podem caracterizar cada etapa.

Tabela 3.3 - Identificação e descrição das categorias de análise para processo de *Design Thinking*

<b>Categoria da análise</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos/aspetos</b>
<i>Problem scoping</i>	Compreender os limites de um problema	Os alunos: - investigam as causas e consequências do aumento do CO <sub>2</sub> na atmosfera e a sua relação com a saúde. - exploraram como a tecnologia, através da conexão e programação do Micro:bit pode ser utilizada para monitorizar a concentração de CO <sub>2</sub> . - efetuam novas pesquisas em consequência das dificuldades encontradas ao longo do processo de trabalho.
<i>Brainstorming and planning</i>	Gerar ideias e planear	Os alunos: - partilham e formulam ideias, conceitos ou modelos para a criação de um protótipo para a medição dos níveis de CO <sub>2</sub> . - discutem estratégias e desenvolvem um plano para responder ao problema. - esboçam o <i>design</i> do protótipo. - efetuam a seleção de materiais de construção e tecnológicos necessários para concretizar a sua ideia.
<i>Design and construct</i>	Desenvolvimento do protótipo ou modelo	Os alunos: - interpretam o <i>design</i> e criam um protótipo portátil para medir o CO <sub>2</sub> .
<i>Design evaluation</i>	Avaliação dos constrangimentos	Os alunos: - testam e avaliam conceptualmente as ideias ou modelos. - testam e avaliam o protótipo (funcionalidade e aspeto) em diferentes ambientes. - avaliam os constrangimentos às ideias, modelos e/ou ao protótipo. - avaliam o cumprimento dos objetivos.
<i>Redesign and improvement</i>	Melhoria do protótipo ou modelo	Os alunos: - melhoram o protótipo. - esboçam um novo <i>design</i> de protótipo. - transformam o <i>design</i> num novo protótipo ou modelo revisto.

Com esta análise pretende-se, assim, compreender o modo como as etapas de *Design Thinking* são percorridas por cada grupo de trabalho, ao longo da implementação do projeto.

Quando as etapas de *Design Thinking* são percorridas de forma sequencial, mesmo que de forma não completa, considera-se que pertencem ao mesmo ciclo de *design*. Sempre que um grupo volta a realizar determinada etapa já percorrida anteriormente encontra-se a iniciar um novo ciclo de *design*. Assim a análise não se baseia em quantas vezes o grupo passa em cada uma das etapas, mas sim no número de ciclos de *design* percorridos para alcançar o protótipo final.

No que respeita ao segundo objetivo de investigação, conhecer a criatividade dos alunos e a sua relação com o processo de *Design Thinking*, quando envolvidos numa sequência didática STEAM, foram definidas como categorias de análise as propostas e validadas por (Filipe et al., 2024), baseadas nas descritas na literatura como critérios associados à monitorização do desenvolvimento da criatividade dos alunos (Thuneberg et al., 2018) categorizadas, no presente trabalho, como dimensões de evidências criativas:

I: Incorporação de uma solução anteriormente utilizada de uma nova forma; abordagem do problema a partir de diferentes perspetivas para encontrar uma solução.

II: Criação de uma ligação entre o problema proposto e uma situação relacionada; tentativa de pensar/imaginar várias soluções para resolver um problema (não aceitar imediatamente a primeira solução); junção de conceitos não relacionados para criar uma ideia/solução.

III: Imersão na resolução do problema; sensação de trabalho sem esforço.

IV: Proatividade, comunicação de ideias e interação entre alunos dos diferentes cursos.

De referir que as dimensões I e II estão incluídas no *Act* e as III e IV relacionadas com o *Flow* (Thuneberg et al., 2018).

No que respeita à II dimensão, a criatividade será analisada em termos da construção do protótipo e em termos da narrativa ou conceptualização subjacente à conceção do protótipo. Relativamente à IV dimensão esta é analisada sob o ponto de vista da proatividade e gestão do tempo e comunicação de ideias e interação entre os alunos de diferentes cursos.

As dimensões de evidências criativas referidas anteriormente foram agrupadas na Tabela 3.4 de modo a realizar uma avaliação por nível de competências. A discriminação destes níveis de competências foi adaptada da proposta por (Filipe et al., 2024)

Tabela 3.4 Tabela com as dimensões de evidências criativas adaptada de Filipe et al. (2024)

Dimensões de evidências criativas		Insuficiente	Suficiente	Bom	Excelente
I: Incorporação de uma solução anteriormente utilizada de uma nova forma; abordagem do problema a partir de diferentes perspectivas para encontrar uma solução.		Os alunos permaneceram na ideia inicial do protótipo, não explorando diferentes opções.	Os alunos permaneceram na ideia inicial do protótipo, mas testaram algumas opções.	Os alunos alteraram a ideia do protótipo inicial para corresponder ao pretendido, com alguma exploração das diferentes opções.	Os alunos alteraram a ideia inicial do seu protótipo e/ou a própria estrutura do mesmo para corresponder ao pretendido, com grande exploração diversas opções.
II: Criação de uma ligação entre o problema proposto e uma situação relacionada; tentativa de pensar/imaginar várias soluções para resolver um problema (não aceitar imediatamente a primeira solução); junção de conceitos não relacionados para criar uma ideia/solução.	II a) -Construção do protótipo	Os alunos não foram capazes de construir um protótipo funcional para resolver os problemas propostos.	Os alunos foram capazes de utilizar os conhecimentos científicos, artísticos e tecnológicos relevantes para resolver os problemas propostos, mas aceitaram imediatamente a primeira solução.	Os alunos foram capazes de utilizar os conhecimentos científicos, artísticos e tecnológicos para resolver os problemas propostos, testando várias soluções.	Os alunos foram capazes de utilizar os conhecimentos científicos, artísticos e tecnológicos para resolver os problemas propostos, testando várias soluções, obtendo diversidade e ultrapassando dificuldades relevantes em relação ao pretendido.
	II b) - Narrativa/ conceptualização subjacente à concepção do protótipo	Os alunos apresentaram uma narrativa /ideia que não colocaram em prática na construção do protótipo.	Os alunos apresentaram uma narrativa /ideia que não colocaram em prática na construção do protótipo, mas alteraram a narrativa inicial para corresponder ao protótipo desenvolvido.	Os alunos apresentaram uma narrativa/ ideia conceptualização simples que aplicaram na construção protótipo.	Os alunos apresentaram uma narrativa/ ideia conceptualização complexa, bem alicerçada na temática do projeto.

<p>III: Imersão na resolução do problema; sensação de trabalho sem esforço.</p>		<p>Os alunos não se empenharam na resolução dos problemas.</p>	<p>Os alunos mostraram-se empenhados em resolver os problemas, mas percebendo a passagem do tempo de aula.</p>	<p>Os alunos mostraram-se empenhados na resolução dos problemas, não se apercebendo da passagem do tempo de aula.</p>	<p>Os alunos mostraram-se empenhados na resolução dos problemas, não se apercebendo da passagem do tempo de aula. Os alunos trabalharam na construção do protótipo fora do tempo letivo.</p>
<p>IV: Proatividade, comunicação de ideias e interação entre alunos dos diferentes cursos.</p>	<p>IV a) – proatividade e gestão do tempo</p>	<p>Os alunos não apresentam ideias relevantes ou recusam-se a trabalhar, mesmo quando orientados nesse sentido.</p>	<p>Os alunos apresentam algumas ideias úteis, trabalhando, com má gestão do tempo.</p>	<p>Os alunos apresentam ideias úteis e pertinentes, trabalhando ativamente e incentivando a participação de todos na aplicação das suas ideias tendo ocorrido, pontualmente, uma má gestão do tempo.</p>	<p>Os alunos apresentam ideias úteis e pertinentes, trabalhando ativamente no tempo disponível e incentivando a participação de todos na aplicação das suas ideias.</p>
	<p>IV b) – Comunicação de ideias e interação entre os alunos de diferentes cursos</p>	<p>Os alunos de Ciências dedicaram-se exclusivamente à parte das Ciências e Tecnologia e os alunos de Artes à parte artística, não existindo troca de experiências e conhecimentos entre ambos.</p>	<p>Houve alguma troca de ideias, experiências e conhecimentos, entre os alunos de artes e os de ciências mas de modo insipiente e simplesmente funcional.</p>	<p>Ocorreu uma troca de ideias regular entre os alunos de Ciências e de Artes, tendo contribuído para a melhoria do trabalho.</p>	<p>Ocorreu uma troca de ideias eficaz, regular e pertinente entre os alunos, estando completamente esbatida a fronteira entre alunos de Ciências e de Artes, reconhecendo os alunos a mais valia deste tipo de interação.</p>

### 3.6. Questões éticas

Relativamente às questões éticas há o respeito pelas normas de proteção de dados atualmente em vigor relativas a informações pessoais e utilização da imagem do agrupamento e dos alunos envolvidos (Morrell & Carroll, 2010). É solicitada autorização ao diretor do agrupamento escolar. Os procedimentos necessários à recolha de dados de menores, incluindo pedidos de autorização e termos de consentimento informado, são cumpridos. Para garantir a confidencialidade e o consentimento informado na utilização das produções escritas dos estudantes para a investigação, os investigadores asseguram a privacidade e os direitos dos estudantes ao longo de todo o processo de recolha e análise de dados (Bogdan & Biklen, 1998).

Os participantes são informados sobre os objetivos do estudo, os procedimentos de recolha de dados e o uso das informações recolhidas, com termos de consentimento informados descrevendo todos os aspetos relevantes do estudo. O consentimento informado por escrito é obtido dos participantes e dos seus responsáveis legais (no caso de menores de idade) antes da recolha de dados. Os dados são anonimizados para garantir a privacidade dos participantes, com respostas codificadas para impedir a identificação individual.

Assim, a informação recolhida é utilizada exclusivamente para fins de investigação, análise e divulgação científica dentro do âmbito do trabalho, não sendo partilhada com outros fins sem o consentimento dos participantes. Os dados são armazenados com acesso restrito aos membros da equipa de investigação e arquivados após a conclusão do estudo conforme as políticas institucionais de proteção de dados.

A investigação é conduzida em conformidade com todos os princípios éticos estabelecidos pela comunidade científica, respeitando a dignidade e direitos dos participantes.

---

# 4. Capítulo

---

## Resultados

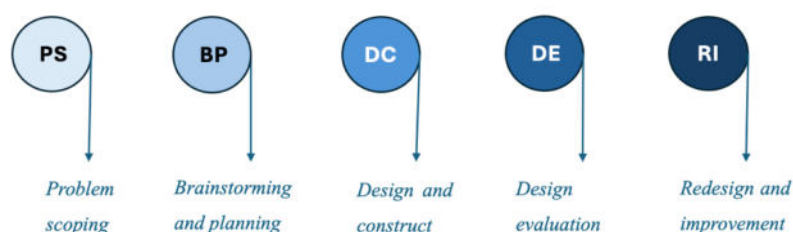
No presente capítulo apresentam-se os resultados deste trabalho que permitem responder à questão central da investigação: de que modo uma sequência didática STEAM, sobre a avaliação da qualidade do ar, em termos de concentração de dióxido de carbono, promove o processo de *Design Thinking* e conduz ao desenvolvimento da criatividade.

A estrutura adotada neste capítulo tem por base a descrição dos resultados referentes aos objetivos decorrentes da questão orientadora desta investigação. Deste modo, o presente capítulo encontra-se organizado em duas secções: análise do desenvolvimento do processo de *Design Thinking* dos alunos quando envolvidos numa sequência didática STEAM; conhecimento da criatividade dos alunos e a sua relação com o processo de *Design Thinking*, quando envolvidos numa sequência didática STEAM.

### 4.1 Desenvolvimento do processo de *Design Thinking*

Para analisar o desenvolvimento do processo de *Design Thinking* dos alunos, quando envolvidos numa sequência didática STEAM, procedeu-se à identificação, descrição e análise das diferentes etapas deste processo, percorridas por cada grupo de alunos, ao longo da sua implementação.

Apresenta-se, inicialmente, para cada grupo de trabalho, um esquema que representa e sintetiza os diferentes modos como foram percorridas as várias etapas que conduziram à criação de diferentes protótipos permitindo, deste modo, uma comparação do processo de *Design Thinking* efetuado por cada grupo, conforme consta na Figura 4.1.



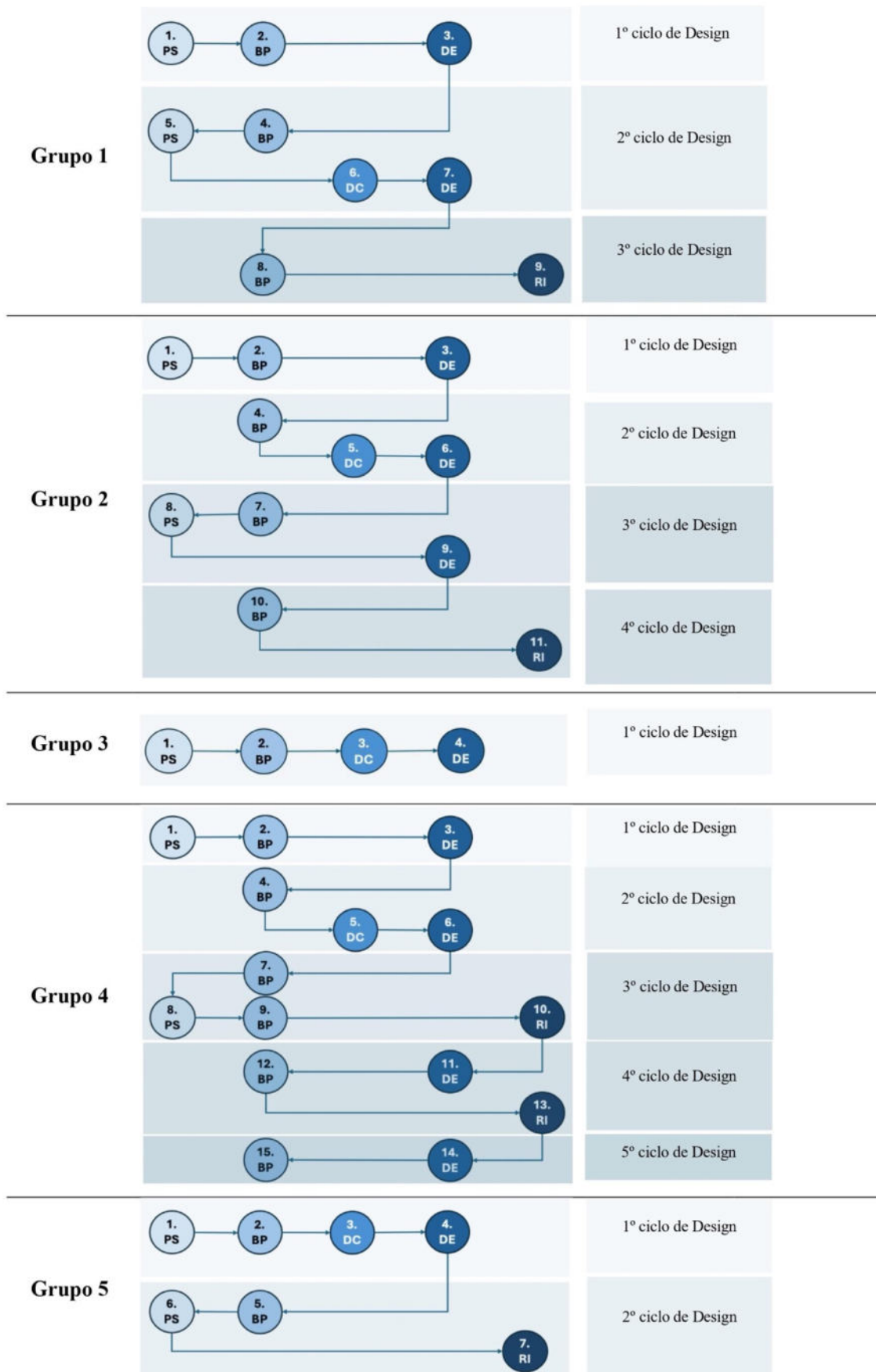


Figura 4.1 - Etapas e número de ciclos de *Design Thinking*, percorridas pelos diferentes grupos

Através de uma análise inicial da Figura 4.1, constata-se que os diferentes grupos de trabalho trilharam diferentes percursos no seu processo de *Design Thinking*.

Todos os grupos iniciaram pela etapa *Problem scoping* (1.PS). No âmbito da compreensão e enquadramento do problema, tal como consta na planificação da sequência didática, e partindo da questão inicial: “Como podemos saber se o ar que respiramos na escola e nas suas imediações é de boa qualidade em termos de concentração de CO<sub>2</sub>?” todos os grupos efetuaram uma pesquisa, sobre as alterações climáticas, nomeadamente causas e consequências do aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico ao longo dos últimos 100 anos, valores de referência de concentração deste gás em espaços interiores e impacto do aumento deste gás na qualidade da saúde humana. Ainda nesta etapa, todos os grupos exploraram opções tecnológicas e de programação disponíveis, previamente selecionadas pelos docentes, tal como consta da sequência didática planificada, para monitorizar os níveis de CO<sub>2</sub>. Os alunos apropriaram-se ainda dos requisitos do protótipo: ser funcional, robusto, transportável e criativo, permitindo avaliar se o ar que se respira na escola e nas suas imediações é de boa qualidade em termos de concentração de CO<sub>2</sub>.

Conforme referido, todos os grupos iniciaram pela etapa *Problem scoping* (1.PS) à qual se seguiu sempre a etapa *Brainstorming and planning* (2.BP).

A análise dos diferentes percursos revela que os grupos 3 e 5, após a etapa de *Brainstorming and planning* (2.BP) iniciaram o processo de prototipagem, etapa *Design and construct* (3.DC), enquanto que os grupos 1, 2 e 4, antes de iniciarem o processo de prototipagem percorreram a etapa do *Design evaluation* (3.DE), uma vez que efetuaram uma avaliação da conceção inicial do protótipo, conforme será descrito posteriormente. No caso dos grupos 1, 2 e 4 seguiu-se novo *Brainstorming and planning* (4.BP), sendo que o grupo 1 regressou novamente para *Problem scoping* (5.PS) em oposição aos grupos 2 e 4 que iniciaram a construção do seu protótipo, *Design and construct* (5.DC).

Com a análise da Figura 4.1 constata-se, por um lado, que o grupo 3 efetuou um percurso unidirecional de modo linear, percorrendo apenas quatro etapas, num único ciclo de *design*. Verifica-se, ainda, que os grupos 5, 1 e 2 percorreram dois, três e quatro ciclos de *design*, respetivamente, tendo o grupo 5 passado por sete etapas, o grupo 1 por nove e o grupo 2 por onze. Por outro lado, o grupo 4 foi o que efetuou um percurso mais longo e complexo tendo iniciado um quinto ciclo de *design* e percorrido quinze etapas. A etapa cruzada com maior frequência ao longo do percurso deste grupo foi a de *Brainstorming and planning*, em consequência, principalmente, da constante testagem, avaliação da conceção e dos constrangimentos, representada pela etapa de *Design evaluation*.

Nos grupos 5, 1 e 2 ocorreu também, em contraste com o grupo 3, um momento de *Redesign and improvement* (RI). A criação do protótipo do grupo 4 passou por dois momentos de *Redesign and improvement*.

Por forma a conhecer e compreender o percurso efetuado por cada grupo far-se-á, de seguida, uma descrição e interpretação das etapas do *Design Thinking* percorridas por cada um dos grupos, onde se fundamenta com as evidências recolhidas em cada uma das etapas, contribuindo para a sua comparação.

## Grupo 1

### *Problem scoping* (1.PS)

No âmbito da compreensão e enquadramento do problema, o grupo 1 efetuou uma pesquisa inicial e sistematizou-a numa produção escrita, na forma de um cartaz, apresentado, Figura 4.2



Figura 4.2 - Produção escrita elaborada pelos alunos do grupo 1 com a sistematização das principais ideias recolhidas no âmbito da imersão na problemáticas em estudo.

Pode ler-se: como título do cartaz: “Causas e consequências do aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera durante os últimos 100 anos”. Pode ler-se mais informações: “Causas: queima de combustíveis fósseis, desflorestação e outros processos industriais” “Consequências: 1 aquecimento global, 2 acidificação dos oceanos, 3 alterações dos ecossistemas, 4 impactos na saúde humana, 5 instabilidade climática.” “ as unidades usadas para medir a concentração de CO<sub>2</sub> são ppm (parte por milhão) e % (percentagem)” “ os valores limite para a concentração de Co<sub>2</sub> atmosférico num espaço interior norma entre 13779:2007” “estabelece padrões para a qualidade do ar interior com base na concentração de Co<sub>2</sub>”

A produção escrita dos alunos revela que, nesta etapa, o grupo 1 tomou consciência de uma parte do problema em análise, tendo identificado algumas das causas e consequências do aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico. No entanto, o grupo colocou informação insuficiente sobre o estabelecimento de padrões da qualidade do ar e revelou, ainda, dificuldades na escrita da fórmula química do dióxido de carbono.

Na produção escrita dos alunos, Figura 4.3 é possível constatar também que o grupo ficou consciente do efeito nefasto de uma grande concentração de CO<sub>2</sub> para a saúde, uma vez que os alunos inferem corretamente sobre o modo como a ocupação e ventilação afetam a concentração de CO<sub>2</sub>, bem como as implicações que podem ter as elevadas concentrações deste gás no conforto e bem-estar das pessoas.

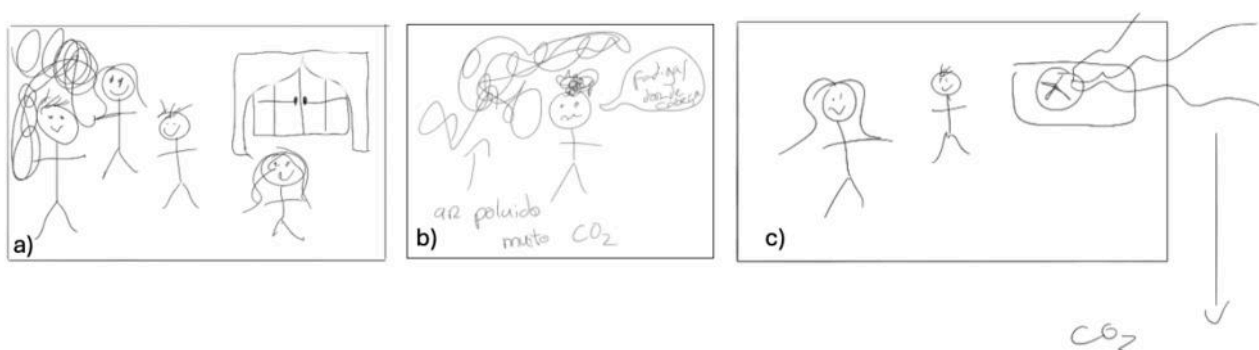


Figura 4.3 - Produção escrita dos alunos que ilustra o modo como a ocupação e ventilação afetam a concentração de CO<sub>2</sub>

Reflete ainda algumas implicações que pode ter a elevada concentração deste gás (expressa pelos traços vincados e curvos) no conforto das pessoas. a) muitas pessoas em espaços fechados provoca um aumento da concentração de CO<sub>2</sub>. b) Pode ler-se “ar poluído, muito CO<sub>2</sub>. Fadiga e dores de cabeça” c) verifica-se que a ventilação contribui para a diminuição de CO<sub>2</sub>

O registo vídeo, explica e corrobora a produção escrita anterior.

“Fatores como a ocupação e a ventilação influenciam muito os valores de CO<sub>2</sub>, por exemplo, se estivermos num espaço cheio de pessoas [figura 4.3.a)], sem ventilação, os valores do CO<sub>2</sub> vão estar bastante altos. Por outro lado, se houver ventilação os valores de CO<sub>2</sub>, vão baixar [figura 4.3.c)]. Elevados níveis de CO<sub>2</sub> podem causar uma série de efeitos negativos no conforto e no bem-estar das pessoas, isso inclui fadiga, dores de cabeça, dificuldade de concentração, irritação nos olhos nariz e garganta e até mesmo problemas respiratórios em casos extremos [figura 4.3.b)]. Além disso altos níveis de CO<sub>2</sub> podem afetar a qualidade do ar interior” (RV)

Ainda nesta etapa, ocorreu a exploração de componentes tecnológicos por parte dos elementos do grupo 1 como evidenciam as fotografias seguintes, Figura 4.4.

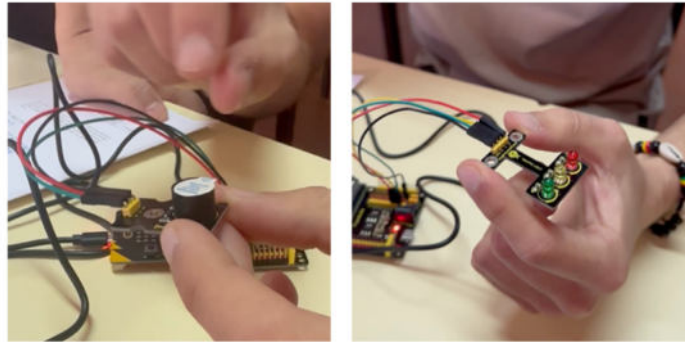


Figura 4.4 - Fotografias dos elementos do grupo 1 na exploração de opções tecnológicas, buzzer e semáforo, para monitorizar os níveis de CO<sub>2</sub>

### *Brainstorming and planning (2.BP)*

Nesta etapa, emergiram várias ideias para a criação do protótipo, tal como ilustram as produções escritas dos alunos presentes na Figura 4.5, nomeadamente a aposta na conceção de uma nuvem (ideia 1) ou de um olho (ideia 2).

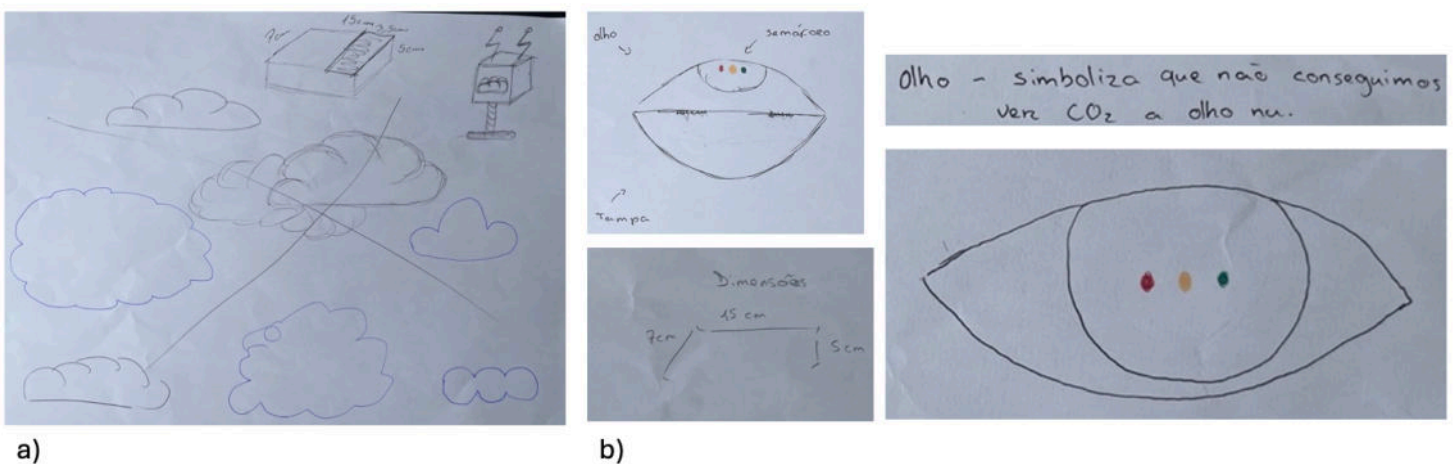


Figura 4.5 - Produção escrita do grupo 1 fruto do *Brainstorming* inicial.

a) ideia 1: criação de uma nuvem. Neste registo estão assinaladas as dimensões do protótipo. A cruz por cima do desenho indica o posterior abandono desta ideia

b) ideia 2: nesta produção escrita os alunos registam que o “olho - simboliza o que não conseguimos ver (CO<sub>2</sub>) a olho nu”. Podemos verificar também as dimensões do Microbit: “7cmx15cmx5cm”. Na projeção de lado lê-se: tampa, olho e semáforo

Os alunos idealizaram e registaram ambas as ideias, tendo em conta as dimensões reais do microbit. Conforme referido na legenda da Figura 4.5 b), o olho remete para o que não é visível a “olho nu”, existindo, deste modo, um conceito subjacente à ideia da conceção pretendida, como é evidenciado na produção escrita dos alunos na mesma figura. Este exemplo revela que os alunos

já têm conhecimento da natureza corpuscular da matéria e usaram-na para abordar a temática do CO<sub>2</sub> a nível simbólico e a necessidade de a medir usando algum artefacto representado por um “olho”. De notar ainda que, na produção escrita presente na Figura 4.5 b) está bem escrita a fórmula química do CO<sub>2</sub>, o que sugere que a dificuldade apresentada na escrita “CO<sub>2</sub>” apresentada na Figura 4.2 está, provavelmente, relacionada com problemas de formatação de letra. Como evidenciam as produções escritas, foram tiradas medidas do microbit por forma a planificar corretamente o protótipo.

### *Design evaluation (3. DE)*

Seguidamente, o grupo 1 avaliou, conceptualmente, ambas as ideias: a ideia da nuvem e a ideia do olho. Como evidenciam as notas de campo realizadas durante a investigação, constatou-se que o grupo 1 abandonou a ideia de implementar a solução baseada na nuvem, ideia 1. Esta decisão foi motivada pela perceção de que o grupo 2 estava a desenvolver um protótipo com uma abordagem semelhante.

“Durante a fase inicial do processo de brainstorming, o Grupo 1 expressou interesse em desenvolver um projeto com a temática de uma nuvem. As discussões iniciais sugeriram a possibilidade de criar uma representação física ou simbólica de uma nuvem como parte do seu conceito. No entanto, enquanto exploravam essa ideia, perceberam que os membros do Grupo 2 também estavam a explorar essa ideia, indicando uma convergência de ideias entre os dois grupos. Ao notarem essa coincidência, os membros do Grupo 1 decidiram que não desejavam simplesmente copiar os colegas, e optaram por procurar alternativas criativas e originais para o desenvolvimento do seu próprio projetos” (NC - 22 de março de 2024).

O registo vídeo revela, também, a avaliação conceptual efetuada pelos elementos do grupo 1, de ambas as ideias, a ideia da nuvem e a ideia do olho:

“encontramos dificuldades tanto ao nível dos materiais de construção tanto como [na conceptualização] no protótipo (...) a nuvem e um olho seriam de difícil concretização” (RV)

Atendendo a estas dificuldades o grupo decidiu abandonar ambas as ideias representadas na Figura 4.5 tal como é possível constatar através da cruz colocada sobre a produção escrita dos alunos, esboço da nuvem. Esta mudança de direção provavelmente evidencia a capacidade dos alunos em refinar as suas estratégias de *design* com base no conhecimento do trabalho dos colegas. Além disso, demonstra um compromisso com a criatividade e a originalidade na procura de soluções para os desafios propostos no âmbito do projeto.

### Brainstorming and planning (4.BP)

Posteriormente, fruto de nova troca de ideias, o grupo decidiu executar uma nave espacial extraterrestre, equipada com sensores de CO<sub>2</sub>, que viria à Terra estudar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, ocorrendo reformulação das ideias iniciais. Segundo o mencionado no registo vídeo, esta nave

“só poderia aterrar na Terra se os níveis de CO<sub>2</sub> fossem aceitáveis” (RV)

Deste modo e face ao evidenciado no registo vídeo, surgiu uma nova ideia subjacente ao modelo do protótipo.

A produção escrita apresentada na Figura 4.6 sintetiza a ideia do modelo de protótipo a desenvolver, contemplando, desde logo, o uso e integração dos componentes tecnológicos para avaliar a qualidade da atmosfera relativamente à concentração de dióxido de carbono.

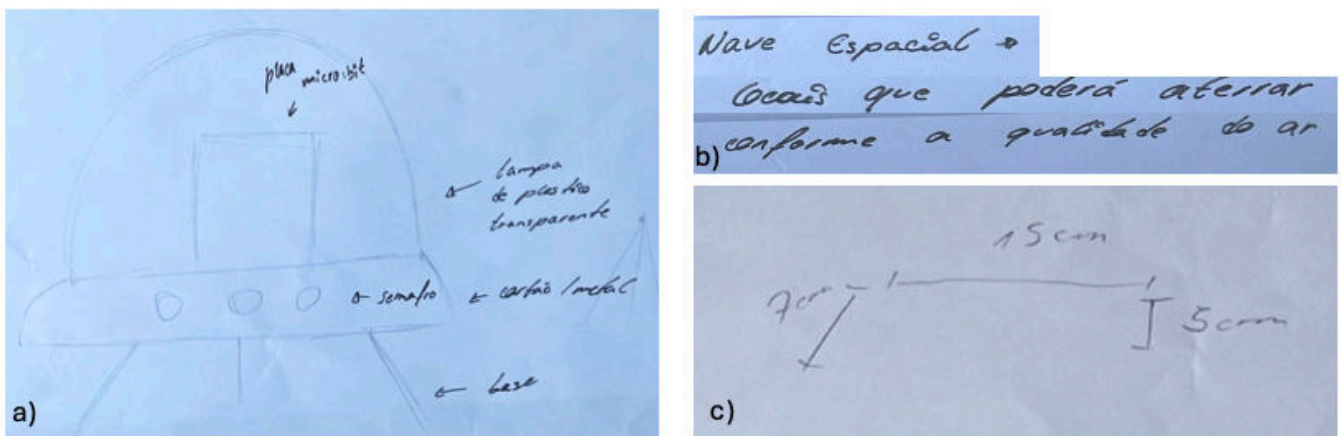


Figura 4.6 - Produção escrita do grupo 1 fruto de novo *Brainstorming*.

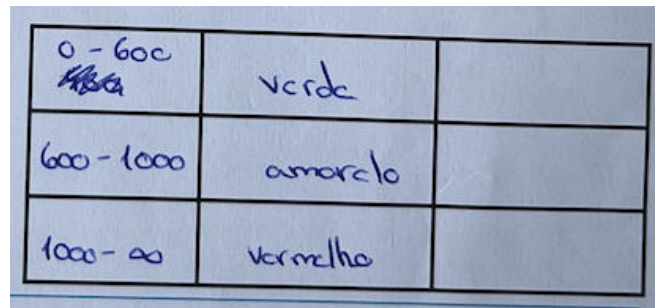
Na produção escrita referente à planificação da nave espacial pode ler-se: a) placa Micro:bit, tampa de plástico transparente, semáforo, cartão/metal e base; b) Nave espacial – locais que poderá aterrar conforme a qualidade do ar; c) as dimensões do Micro:bit: 7cmx15cmx5cm;

A seleção dos materiais constituiu uma etapa importante para o início da construção do protótipo, tal como referido no registo vídeo:

“Na realização deste protótipo decidimos usar materiais como plástico e o cartão para fazer a estrutura da nave e depois uns papéis holográficos e umas antenas para a decoração” (RV)

### *Problem scoping (5.PS)*

O grupo 1 teve necessidade, posteriormente, de efetuar nova pesquisa, na tentativa de conhecer os valores-limite para a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico por forma a ser possível a sua utilização na programação do semáforo.



0 - 600 Até	verde	
600 - 1000	amarelo	
1000 - ∞	vermelho	

Figura 4.7 - Produção escrita dos alunos do grupo 1 indicando os valores de concentração de CO<sub>2</sub> [em ppm], fruto da pesquisa efetuada.

A produção escrita apresentada na Figura 4.7, é evidência disso, apesar de não serem referidas as unidades, nem a qualidade do ar para cada intervalo de concentração de CO<sub>2</sub>, apesar de implícito nas cores utilizadas.

### *Design and construct (6. DC)*

A Figura 4.8 evidencia a criação e montagem do protótipo, em forma de nave espacial, com indicação luminosa da qualidade do ar, através das luzes do semáforo. Os dados recolhidos na pesquisa foram utilizados para programar este componente, de acordo com os valores de CO<sub>2</sub> em ppm.

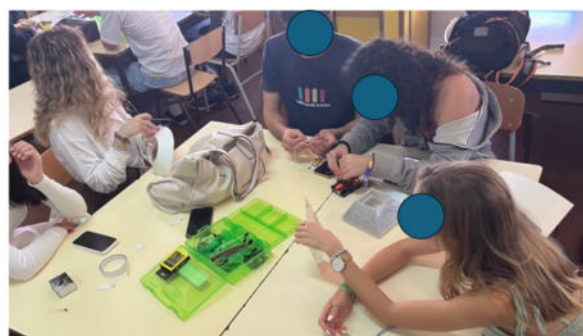


Figura 4.8 – Fotografia dos elementos do grupo 1 na construção do protótipo.

### *Design evaluation (7. DE)*

O grupo 1 testou e avaliou o protótipo em forma de nave espacial em ambientes com diferentes concentrações de dióxido de carbono, utilizando uma lamparina de álcool e um copo de precipitação para produzir e reter este gás, tal como é evidenciado no registo vídeo:

“O programa ativa verde quando deteta os valores de CO<sub>2</sub> menores que 600ppm. Ativa o amarelo quando os valores são maiores ou iguais a 600 e menores que 1000 ppm. Ativa o vermelho quando os valores de CO<sub>2</sub> ultrapassam os 1000 ppm.” (RV)

Ao testar e avaliar a conceção do protótipo, o grupo 1 equacionou um novo problema de esconder e proteger o sensor aquando da sua não utilização, tal como se ilustra na fotografia apresentada na Figura 4.9.

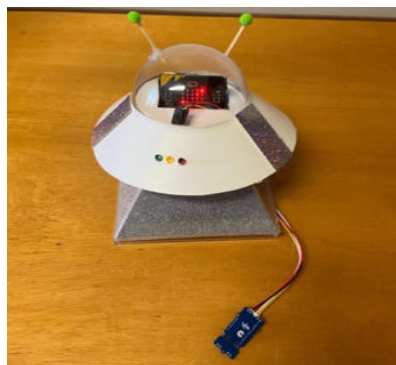


Figura 4.9 – Fotografia do protótipo do grupo 1 com o sensor de CO<sub>2</sub> visível

### *Brainstorming and planning (8.BP)*

Após discussão e partilha de ideias, o grupo decidiu, por forma a ser possível melhorar o *design* do protótipo, encobrir e proteger o sensor de CO<sub>2</sub>, através da criação de uma base para a nave espacial, com a utilização de uma caixa de Cd, a qual fecha quando não se está a efetuar a medição possibilitando, do mesmo modo, a sua abertura para retirar este componente eletrónico.

### *Redesign and improvement (9.RI)*

A colocação da caixa de Cd, na base na nave espacial, constituiu-se como uma melhoria do protótipo tal como ilustrado nas fotografias, Figura 4.10



Figura 4.10 – Fotografias do protótipo do grupo 1 com o sensor de CO<sub>2</sub> visível, vista lateral, e com o sensor guardado dentro da caixa de Cd, em vista traseira.

Em síntese, os resultados mostram que o desenvolvimento do processo de *Design Thinking* do grupo 1, que conduziu à construção de um protótipo funcional para medir a concentração de CO<sub>2</sub>, decorreu em três ciclos de *design*.

No primeiro ciclo de *design* ocorreu a exploração sequencial das etapas *Problem scoping* (1.PS), *Brainstorming and planning* (2.BP) e *Design evaluation* (3. DE) o que levou ao início do segundo ciclo de *design* com novo *Brainstorming and planning* (4.BP), seguido de uma nova exploração da etapa *Problem scoping* (5.PS), que conduziu à etapa *Design and construct* (6. DC), na qual ocorreu a construção do protótipo, seguido de nova etapa *Design evaluation* (7. DE). A avaliação efetuada conduziu ao terceiro ciclo de *design*, através do novo regresso etapa de *Brainstorming and planning* (8.BP), culminando com a etapa *Redesign and improvement* (9.RI), através da melhoria do protótipo.

Constata-se ainda que o protótipo final, que responde aos requisitos solicitados, não resultou de nenhuma das ideias inicialmente consideradas.

## Grupo 2

O desenvolvimento do processo de *Design Thinking* do grupo 2, foi diferente do grupo 1. À semelhança do grupo anterior este processo também percorreu várias etapas, porém, os resultados mostram terem ocorrido diferenças no seu percurso. Os alunos do grupo 2, conscientes do percurso efetuado, referiram que o seu projeto:

“passou por várias fases, desde a conceção do *design* até a programação do Micro:bit.” (RV)

### *Problem scoping (1.PS)*

Imbuído da problemática em questão, o grupo 2, para responder ao problema de partida definido, considerou que, para determinar a qualidade do ar teria de desenvolver um protótipo que indicasse o valor de CO<sub>2</sub> na atmosfera, avaliando deste modo a qualidade do mesmo, como evidencia a produção escrita dos alunos, Figura 4.11

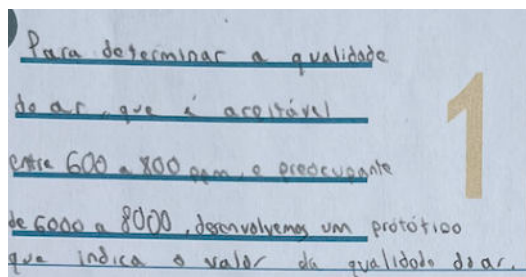


Figura 4.11 - Produção escrita dos alunos do grupo 2.

É possível ler-se: “para determinar a qualidade do ar que é aceitável entre 600 e 800 ppm e preocupante (...) desenvolvemos [desenvolveremos] um protótipo que indica o valor da qualidade do ar [a concentração de CO<sub>2</sub> em ppm]”

Os alunos do grupo 2, exploraram e programaram o sensor de CO<sub>2</sub>, o semáforo e o som, como evidenciado nas fotografias da Figura 4.12 e no registo vídeo.

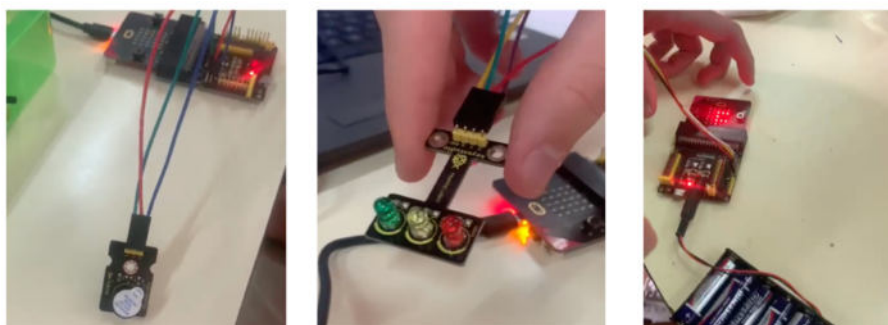


Figura 4.12 - Fotografias dos elementos do grupo 2 na exploração de opções tecnológicas, buzzer, semáforo e sensor de CO<sub>2</sub>

### *Brainstorming and planning (2.BP)*

Nesta etapa, após trocas de pontos de vista na tentativa de conceber um protótipo para responder ao problema de partida, emergiu uma ideia inicial: conceber o protótipo de um carro resistente a transportar o planeta Terra, como evidencia a produção escrita presente na Figura 4.13.



Figura 4.13 - Produção escrita dos alunos do grupo 2, fruto do *Brainstorming* inicial, com a representação de um carro a transportar o planeta Terra.

#### *Design evaluation (3.DE)*

Analisando esta ideia, os alunos recentraram-se no enquadramento e na temática do projeto, sustentabilidade ambiental, e reformularam-na, pois, na opinião do grupo, não incluía a dimensão ambiental, conforme é possível deduzir pelas palavras referidas no registo vídeo:

“No início tivemos uma ideia base de fazer um carro pois teria boa resistência e seria fácil transportar, mas deixamos essa ideia de parte e avançamos com a ideia da nuvem porque assim o protótipo teria mais conformidade com o tema abordado” (RV)

Considera-se que após o *brainstorming* inicial o grupo manteve foco no contexto de estudo, testando e avaliando a ideia, o que conduziu à reformulação da mesma tendo em conta a temática ambiental, bem como pesquisa efetuada, conduzindo assim o grupo a uma nova etapa de *brainstorming*.

#### *Brainstorming and planning (4.BP)*

Em sequência de um novo *brainstorming*, o grupo 2 decidiu idealizar e planificar o protótipo de uma nuvem suspensa num raio, uma vez que, na opinião dos alunos

“estava associada à qualidade do ar” (RV).

A ideia de uma nuvem associada à melhor ou pior qualidade do ar parece ser uma conceção alternativa e contraditória. No entanto, os alunos apenas a pensaram como um elemento presente na atmosfera que poderia avaliar a concentração de CO<sub>2</sub>, como é evidenciado nas notas de campo:

“os alunos pensaram em construir o protótipo de uma nuvem como elemento presente na atmosfera que vai avaliar a concentração de dióxido de carbono na mesma.” (NC\_22/03/2024)

Planificaram a estrutura da nuvem, tendo em conta as dimensões do Micro:bit, partindo da ideia da utilização de uma caixa de gelado com tampa, que seria coberta de algodão, dentro da qual seriam colocados os componentes eletrónicos. Elaboraram, simultaneamente, um esboço explicativo de como seria o protótipo em funcionamento, como evidenciam as produções escritas dos alunos presentes na Figura 4.14.

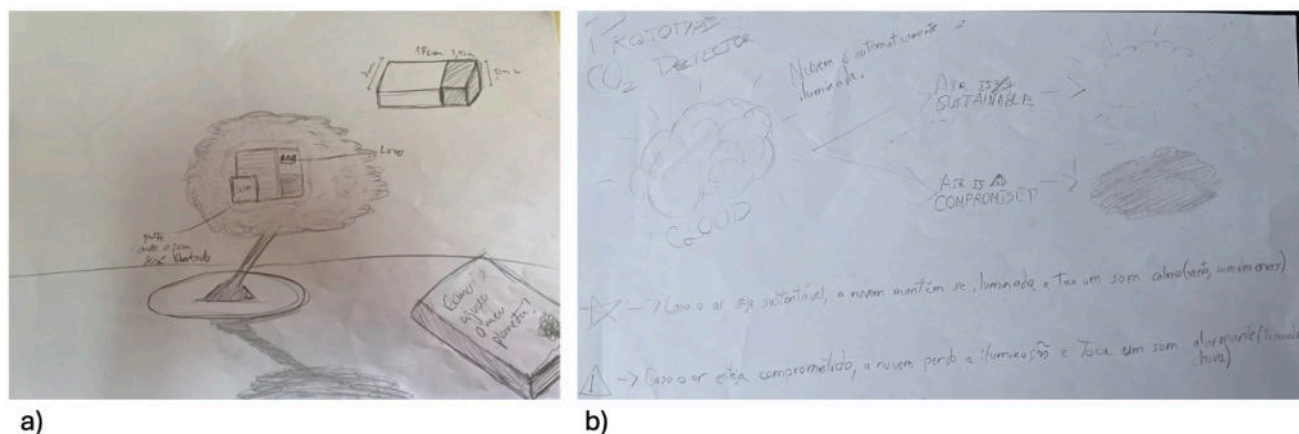


Figura 4.14 – Produção escrita dos alunos do grupo 2, idealizando o protótipo.

a) Na produção escrita pode ler-se: “parte onde o som será libertado”, “luzes”, as dimensões do Micro:bit 7cmx18,5cmx5cm e “como ajudo o meu planeta? b) Na produção escrita pode ler-se: “Prototype CO<sub>2</sub> detector” “nuvem automaticamente iluminada”. “Air is sustainable – Caso o ar seja sustentável, a nuvem mantém-se iluminada e toca um som calmo (vento, som das ervas)” “Air is compromised – caso o ar esteja comprometido a nuvem perde iluminação e toca um som alarmante (trovoada, chuva)”

Considera-se que, o “ar sustentável” implicaria uma atmosfera com níveis aceitáveis de CO<sub>2</sub> em oposição ao “ar comprometido” que teria valores de concentração de CO<sub>2</sub> superiores ao desejado.

Os elementos deste grupo, planificaram ainda possíveis estruturas para criar um relâmpago, a ser efetuado em massa de modelar, apenas com a função de servir de base para equilibrar a nuvem, como evidencia a Figura 4.15. Simultaneamente, selecionaram os materiais a utilizar

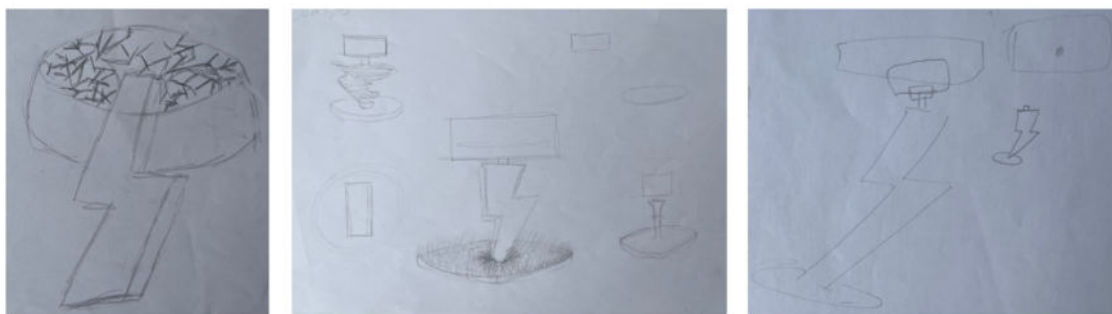


Figura 4.15 – Produções escritas dos alunos do grupo 2 nas quais idealizam e planificam possibilidades de criação de um relâmpago, por forma a sustentar a nuvem.

As produções escritas dos alunos, presentes na Figura 4.15 evidenciam que o grupo 2 planificou várias hipóteses de criação do raio, na tentativa de responder à idealização do protótipo.

#### *Design and construct (5.DC)*

Dando início à prototipagem, o grupo 2 iniciou a construção de uma nuvem e programação do sensor de CO<sub>2</sub>, como evidenciado pelas fotografias presentes na Figura 4.16.



Figura 4.16 – Fotografias de algumas etapas do trabalho de prototipagem desenvolvidas pelos elementos do grupo 2.

#### *Design evaluation (6.DE)*

Nesta etapa foram efetuadas várias testagens, nomeadamente ao nível da concentração de CO<sub>2</sub>, dentro dos valores definidos na sua pesquisa, como evidencia a sequência de fotografias da Figura 4.17.

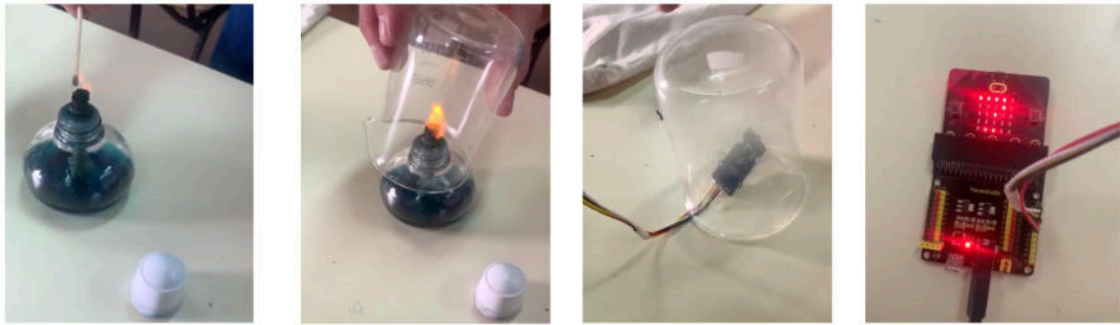


Figura 4.17– Sequência de fotografias que ilustra a testagem da concentração de CO<sub>2</sub> usando uma lamparina e copo de precipitação para produzir e reter este gás.

Com concentração superior a 1000 ppm tocava um som e o semáforo ficava vermelho. Valores entre 600 ppm e 1000 ppm, o semáforo ficava amarelo e inferior a 600 ppm o semáforo acendia uma luz verde.

Ainda fruto da avaliação efetuada, um obstáculo encontrado pelo grupo foi o som a utilizar quando os níveis de dióxido de carbono fossem superiores ao desejável, o que conduziu o grupo a uma nova etapa de *brainstorming*.

#### *Brainstorming and planning (7.BP), Problem scoping (8.PS) e Design evaluation (9.DE)*

Uma vez que as três etapas ocorreram quase em simultâneo e havendo dificuldade em individualizar claramente cada uma delas, uma vez que, quer o registo vídeo quer as notas de campo as apresentam em simultâneo, optou-se por apresentá-las em conjunto.

Fruto de nova troca de ideias o grupo decidiu colocar um som de um trovão, como é possível verificar nas notas de campo do investigador observador e no registo vídeo. Para tal era fundamental saber como programar os componentes tecnológicos para produzir um som semelhante ao pretendido. Através de pesquisa, os alunos recorreram ao uso da inteligência artificial na tentativa de encontrarem um som semelhante ao de um trovão, conforme evidenciam as notas de campo do investigador observador:

“Durante a fase de desenvolvimento do projeto, os alunos do Grupo 2 exploraram a utilização do ChatGPT para programar um som semelhante ao de um trovão. No entanto, após várias tentativas, não conseguiram alcançar o som desejado. Em busca de uma solução alternativa, recorreram à plataforma de inteligência artificial "Blackbox", recomendada para programação, e conseguiram obter um som que se aproximava mais do que esperavam. Apesar do sucesso na criação do som, os alunos enfrentaram um desafio adicional ao testá-lo no ambiente físico da sala e em locais mais ruidosos. Constataram que, devido ao volume insuficiente, o som não era audível o suficiente para transmitir a sensação desejada de trovão.

Diante dessa limitação técnica, o grupo concluiu que a inclusão do som do trovão não seria viável para o projeto.” (NC - 10/04/2024)

O registo vídeo evidencia também todo o processo vivenciado:

“O problema que enfrentámos no desenvolvimento do nosso protótipo foi com Micro:bit ou seja estávamos à procura de um som parecido com um trovão ou trovoada e quando encontramos esse som a frequência era demasiado baixa ou seja o som não se iria ouvir estamos aí com um dilema este som de frequência baixa faz efetivamente um som parecido com o trovão. Mas se tiver barulho de fundo não dá para ouvir bem não entanto se aumentarmos a frequência para 5 mil conseguimos obter um som que mesmo tenha barulho de ruído toda a gente consegue ouvir.” (RV)

Como referido no registo vídeo, e nas notas de campo, o som encontrado era difícil de ouvir em ambientes com ruído de fundo. Em consequência o grupo teve de ajustar a frequência para garantir que o som fosse audível, experimentando múltiplas vezes até obter o resultado desejado.

Avaliando a conceção do protótipo até à altura, o grupo verificou que o som não representava o efeito desejado de um trovão, pelo que decidiu abandonar a ideia. Os alunos defrontaram-se com um novo obstáculo a estrutura do relâmpago era muito reta, pelo que não se assemelhava a um relâmpago, tal como evidenciado no registo vídeo,

“a base da nuvem... pois na ideia original era [sustentá-la através de] um trovão [raio], mas a base era demasiada reta” (RV)

#### *Brainstorming and planning* (10.BP)

Em virtude das dificuldades apresentadas, novamente num regresso à etapa de *brainstorming*, alguns dos alunos do grupo, conforme evidenciado no registo vídeo, deram aso:

“à imaginação e, em concordância com o resto do grupo, optámos por fazer, assim, uma árvore com uma nuvem em cima, acabando assim por apelar à disciplina da oficina de artes.” (RV)

#### *Redesign and improvement* (11.RI)

Deste modo, houve o abandono das ideias e do fio condutor originais, melhorando o protótipo, através da adaptação da estrutura, pintura da base, deixando a nuvem em branco. Como patente nas notas do investigador observador:

“A decisão de deixar a copa da árvore em branco foi intencional, uma vez que os alunos optaram por manter a ideia original da nuvem” (NC - 12/04/2024)

Deste modo, usaram a ideia da nuvem como elemento para avaliar a qualidade do ar e usaram-na como uma copa de árvore, um exemplo de um tipo de sorvedouro de CO<sub>2</sub>.

Em síntese, os elementos do grupo 2 construíram a árvore do dióxido de carbono, Figura 4.18 adaptada da nuvem inicial, tendo sido programado um som de alarme em vez do som do trovão.



Figura 4.18– Fotografias do protótipo do grupo 2 em várias perspectivas

“Graças a isto não só conseguimos avançar com uma nova ideia para o nosso trabalho e bem como fizemos algo ainda mais criativo do que tínhamos em mente originalmente” (RV)

Verifica-se, através da análise do percurso do grupo 2, que à semelhança do grupo 1, todas as diferentes etapas do *Design Thinking* foram percorridas. No entanto, o grupo 2 passou por quatro ciclos de *design* em oposição aos três ciclos percorridos pelo grupo 1.

Tendo como ponto de partida a ideia da nuvem para o protótipo, esta foi sendo alterada, ao longo do processo, em consonância com a avaliação efetuada, numa sucessão de etapas. Verifica-se que o protótipo final responde aos requisitos requeridos, não tendo resultado de uma ideia inicial, mas sim de um conceito progressivamente alterado e melhorado.

À semelhança do grupo 1, no primeiro ciclo de *design* ocorreu a exploração sequencial das etapas *Problem scoping* (1.PS), *Brainstorming and planning* (2.BP) e *Design evaluation* (3.DE) o que conduziu ao início do segundo ciclo de *design* com novo *Brainstorming and planning* (4.BP). Aqui surge a primeira diferença relativamente ao grupo 1. A etapa seguinte do grupo 2 é a *Design and construct* (5.DC) seguida de *Design evaluation* (6.DE), iniciando-se o terceiro ciclo de *design* com novo *Brainstorming and planning* (7.BP), seguido de novo *Problem scoping* (8.PS), e de novo *Design evaluation* (9.DE). No quarto ciclo de *design* surge novo *Brainstorming and planning* (10.BP) seguido de *Redesign and improvement* (11.RI).

## Grupo 3

O processo de *Design Thinking* percorrido pelo grupo 3 caracteriza-se, em oposição aos restantes, por percorrer um único “ciclo” de *design*, podendo ser chamado de processo linear, cruzando, no entanto, todas as etapas consideradas.

### *Problem scoping* (1.PS)

O grupo 3 iniciou a sua abordagem ao problema explorando a temática ambiental em análise, qualidade do ar em termos de concentração de dióxido de carbono, e seu impacto na saúde humana, conforme evidenciado no registo vídeo:

“Inicialmente começamos por procurar informação para responder às perguntas: qual a unidade usada para medir a concentração de CO<sub>2</sub> e o seu significado; quais as causas e consequências do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera durante os últimos 100 anos; quais as consequências desse aumento na saúde humana e valores limite para a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico no espaço anterior e outros aspetos importantes.” (RV)

Ainda neste contexto ocorreu a exploração de componentes tecnológicos, evidenciado nas fotografias da Figura 4.19, bem como a apropriação dos requisitos do protótipo a executar.

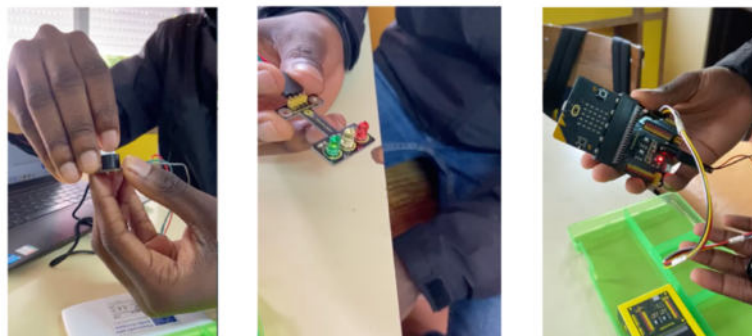


Figura 4.19– Fotografias da exploração dos componentes tecnológicos, buzzer, semáforo e sensor de CO<sub>2</sub> por parte do grupo 3, que também se encontram no registo vídeo.

O grupo 3, apropriou-se do desafio em questão, tal como revela a produção escrita dos alunos, presente na Figura 4.20.

A criação de um aparelho que  
possa medir a quantidade de  
CO<sub>2</sub> num determinado espaço  
delimitado

Figura 4.20– Produção escrita dos alunos do grupo 3.

Os alunos expressam o que necessitam para resolver o problema de partida. Pode ler-se: “A criação de um aparelho que possa medir a quantidade de CO<sub>2</sub> num determinado espaço delimitado”

### *Brainstorming and planning (2.BP)*

Nesta etapa, os alunos idealizaram um protótipo em forma de um maço de tabaco, cuja planificação e diferentes perspetivas do mesmo estão evidenciadas nas produções escritas dos alunos, Figura 4.21.

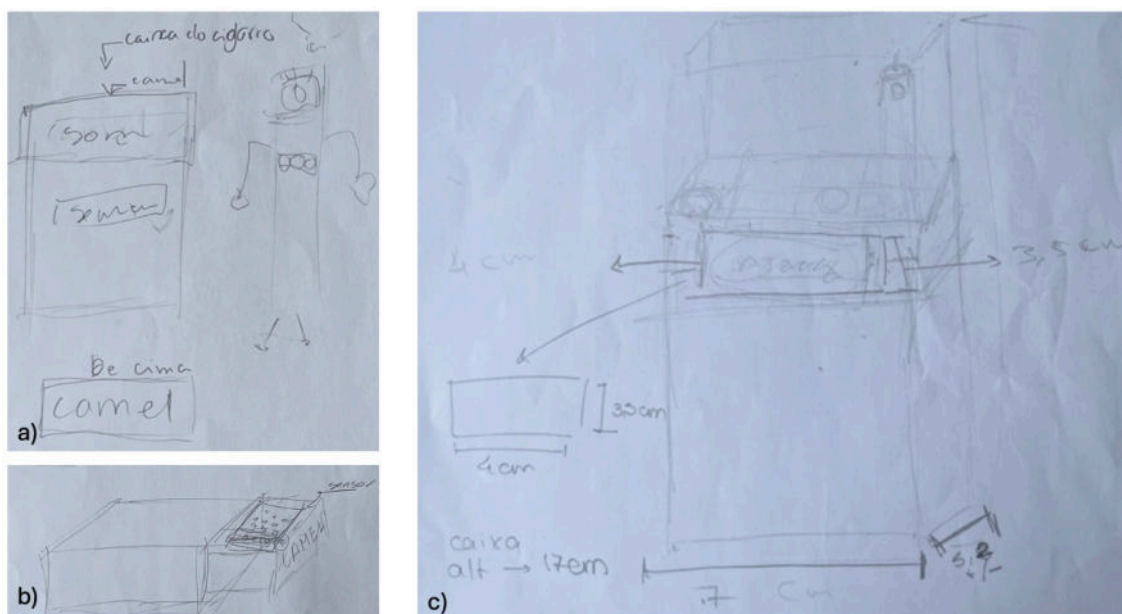


Figura 4.21– Produção escrita dos alunos do grupo 3 com várias perspetivas do protótipo.

Na fotografia a) e b) estão representadas várias perspetivas da caixa planificada. Na fotografia c) é efetuada a planificação com as medidas pretendidas.

Partindo da ideia inicial, um pouco pueril, do fumo de tabaco como fonte de poluição do ar interior, aliado à mensagem que pretendiam passar, fumar é prejudicial para a saúde, o grupo decidiu que o protótipo, em forma de caixa de tabaco, seria uma interface amigável para comunicar os resultados ao utilizador, conforme evidenciado no registo vídeo.

“protótipo em formato de caixa de cigarros porque o mesmo representa uma das muitas formas de poluição no ar (...) os critérios que usamos para a seleção dos materiais para garantir que o protótipo respondesse requisitos foi em torno do *design* que escolhemos: a caixa de cigarros que precisava ser diferente, algo que ninguém pensasse. Os materiais usados foram madeira, cartão, plástico, esponja cola quente, tinta e dobradiça” (RV)

Efetuaram a escolha de materiais resistentes e desde logo decidiram usar um led vermelho para simular um cigarro aceso, associando o vermelho a valores prejudiciais da qualidade do ar, conforme evidenciam as notas de campo do investigador observador.

### *Design and construct* (3.DC)

Durante o processo de prototipagem, captado na fotografia da Figura 4.22, os alunos utilizaram os materiais seleccionados, referidos anteriormente e mencionados no registo vídeo, criando o protótipo em forma de maço de tabaco.

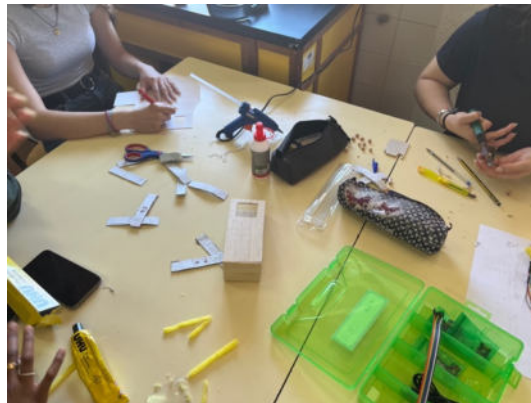


Figura 4.22– Fotografia dos elementos do grupo 3 a construir o protótipo.

Nas notas de campo é evidenciado o modo como foram divididas as tarefas pelos elementos do grupo e a colaboração existente entre todos que se traduziu na construção do protótipo.

“Os alunos do grupo 3 demonstraram uma clara divisão de tarefas ao longo do projeto. Um dos membros do grupo focou-se especificamente na programação do sensor de dióxido de carbono, enquanto os restantes trabalharam na criação e construção do protótipo. Esta divisão de trabalho não comprometeu a colaboração e o entendimento entre os membros do grupo. Houve uma escolha cuidadosa dos componentes utilizados no projeto, destacando-se a inclusão de um LED vermelho, que foi selecionado para se integrar adequadamente na estrutura e na ideia do projeto.”(NC-22/03/2024).

Os alunos efetuaram a programação dos sensores e componentes eletrónicos, acrescentando o led vermelho. Conceberam uma estrutura resistente, compacta, que albergava os diferentes componentes. Optaram por camuflar todos os componentes e criar uma estrutura

superior amovível que imita cigarros. Existiu um particular cuidado com os componentes tecnológicos, através da colocação de uma esponja para não danificar o Micro:bit e de modo que todos os fios e ligações ficassem bem protegidos e escondidos. A dobradiça permite a abertura e fecho da tampa do protótipo. Quando aberta o sensor fica exposto ao ar e efetua a leitura dos níveis de CO<sub>2</sub>, como evidenciado no protótipo final, Figura 4.23. No entanto, o protótipo apresenta fragilidades na colagem do sensor.

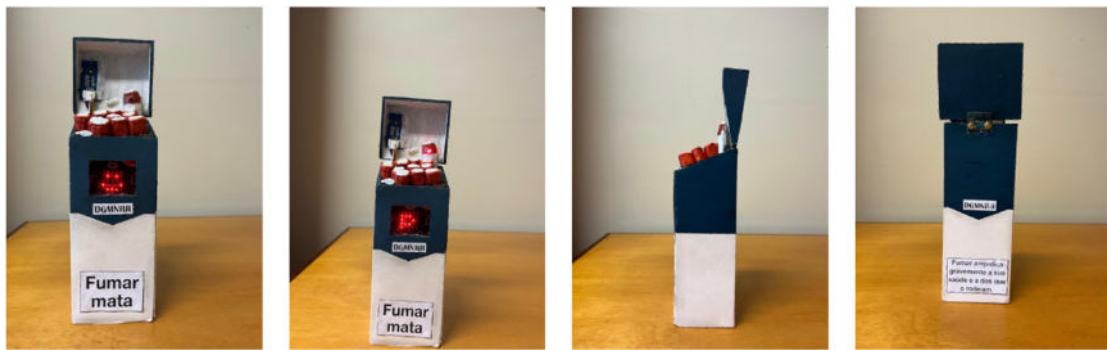


Figura 4.23– Fotografias do protótipo final do grupo 3 em várias perspetivas.

Por forma a tornar o protótipo mais realista apostaram na decoração e pintura do mesmo. Optaram pelo azul, cor que, segundo os elementos do grupo, está associada ao tabaco.

“Escolhemos o azul como cor predominante, pois é uma cor comum em caixas de cigarros, e incluímos frases de alerta para aumentar o realismo do protótipo.” (RV)

Efetuaram a inclusão de frases de alerta para aumentar o realismo do protótipo, tal evidenciado na Figura 4.23.

#### *Design evaluation (4.DE)*

O grupo testou várias opções para mostrar a leitura dos níveis de CO<sub>2</sub> e de alerta, permitindo observar o que sucedia com diferentes concentrações deste gás, como evidenciado nas notas de campo:

“Os alunos testaram diversos componentes, avaliando a sua eficácia. Para isso, utilizaram uma lamparina como fonte de dióxido de carbono, permitindo-lhes observar e calibrar os valores de alerta do sensor.”(NC-22/03/2024)

Após várias hipóteses optaram por efetuar a programação do sensor da seguinte forma, conforme evidenciado no registo vídeo:

“é efetuada a leitura dos níveis de CO<sub>2</sub> pelo sensor. De seguida é exibido na placa Micro:bit o seu valor: se os valores variarem entre 400 e 600 ppm a placa irá mostrar uma cara sorridente pois os níveis de CO<sub>2</sub> estão estáveis; se os valores variarem entre 600 e 900 ppm a placa mostrará uma cara neutra e uma luz vermelha acende em mais destacado para mostrar que os níveis de CO<sub>2</sub> estão preocupantes; Se os valores se encontrarem acima de 900 ppm aparece uma cara triste na tela, a luz permanece vermelha e o buzzer apita indicando que os níveis de CO<sub>2</sub> estão muito elevados” (RV)

O protótipo foi, ainda, testado em vários locais desde o bar dos alunos, à sala de aula, à casa de um dos elementos do grupo, como evidenciado no registo vídeo, do qual se capturaram as imagens, que se encontram na Figura 4.24.



Figura 4.24 – Captura de imagens do registo vídeo dos alunos do grupo 3, onde se evidencia a testagem do protótipo em diferentes locais.

Pode ler-se: a) protótipo testado no bar da escola; b) protótipo testado em sala de aula; c) protótipo testado em casa.

De acordo com o registo vídeo, a opção deste grupo em criar uma caixa de cigarros como protótipo foi alertar não só para o perigo de fumar, mas também o quão prejudicial é o CO<sub>2</sub> libertado durante a queima dos cigarros em termos de qualidade do ar interior, em espaços muito fechados e com deficiente ventilação. Analisando o protótipo e as frases utilizadas no mesmo, verifica-se que a relação causa (fumar) consequência (morte) afasta-se do conceito do trabalho. No entanto, o protótipo é funcional e permite a avaliação da concentração de CO<sub>2</sub> em diferentes espaços.

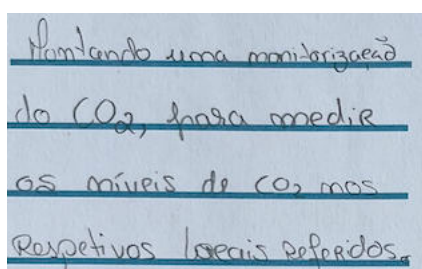
Através da análise efetuada, verifica-se que o grupo 3 percorreu a maioria das etapas do *Design Thinking*, de modo unidirecional, isto é, num único “ciclo” de *design*. Balizado na temática em questão, o grupo 3 idealizou uma ideia inicial a qual foi discutida, planificada, executada e avaliada. Este percurso unidirecional apresentado, *Problem scoping* (1.PS), *Brainstorming and planning* (2.BP), *Design and construct* (3. DC) e *Design evaluation* (4. DE), é muito contrastante com os percursos dos diferentes grupos, nomeadamente o grupo seguinte, grupo 4.

## Grupo 4

O desenvolvimento do processo de *Design Thinking* do grupo 4 foi o mais longo, e eventualmente o mais complexo, no qual a etapa que surge com maior frequência é a de *Brainstorming and planning* (BP). Este percurso foi muito diferente dos restantes como podemos constatar de seguida.

### *Problem scoping* (1.PS)

Tendo subjacente o problema de partida, o grupo 4, desde logo considerou ser fundamental a conceção de um protótipo que permitisse monitorizar e medir a concentração de CO<sub>2</sub> em diferentes locais como, evidencia a produção escrita dos alunos presente na Figura 4.25.



Montando uma monitorização  
do CO<sub>2</sub>, para medir  
os níveis de CO<sub>2</sub> nos  
respetivos locais referidos.

Figura 4.25– Produção escrita dos alunos do grupo 4 como resposta ao problema inicial.

Pode ler-se: “Montando uma monitorização de CO<sub>2</sub>, para medir os níveis de CO<sub>2</sub> nos respetivos locais (referidos)”

Com base na pesquisa efetuada associada à temática ambiental em análise e impacto da qualidade do ar na saúde humana, bem como a exploração de diferentes componentes tecnológicos fornecidos, o grupo reuniu informação na tentativa da criação de um protótipo que permitisse monitorizar e medir os níveis de CO<sub>2</sub> em diferentes locais. A seguinte transcrição, de parte do registo vídeo, evidencia a pesquisa efetuada pelo grupo, onde referem que é fundamental:

“Um eficiente sistema de ventilação [procurando] manter uma ventilação adequada inicial para garantir a qualidade do ar e o conforto dos ocupantes um espaço fechado. Com o nosso produto conseguiremos saber os níveis de CO<sub>2</sub>. (...) Nós só queremos o [melhor] para as pessoas. Os níveis de dióxido de carbono podem impactar negativamente no conforto e bem-estar das pessoas afetando a respiração, a cognição, desempenho o sono e na saúde em geral, por isso é importante monitorizar e controlar os níveis de CO<sub>2</sub> ambientes fechados para garantir um ambiente saudável e confortável para as pessoas.” (RV)

### *Brainstorming and planning* (2.BP)

Enquadrado claramente na temática em estudo e no problema que lhes foi colocado, tendo por base os requisitos solicitados para o protótipo, o grupo 4 pensou, discutiu e registou várias

possibilidades de ideias para o protótipo: ideia 1 – um artefacto parecido com uma televisão, ideia 2 - uma planta que murcha ou ideia 3 - uma mala, conforme evidenciado pelas produções escritas dos alunos presentes na Figura 4.26.

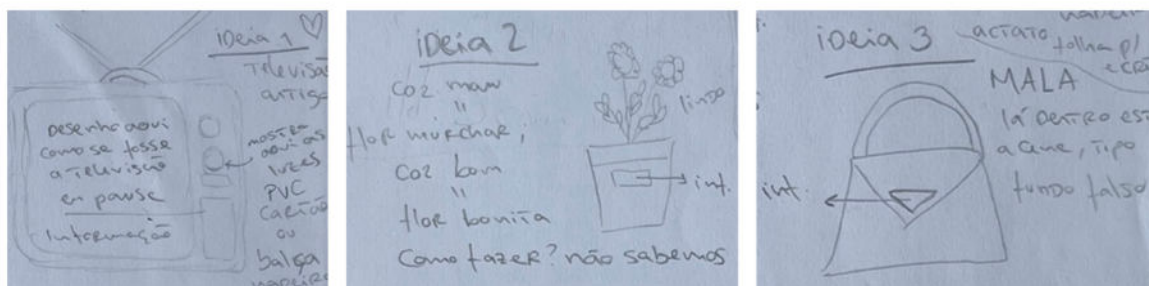


Figura 4.26– Produção escrita dos alunos do grupo 4 fruto do *brainstorming* inicial.

- a) ideia 1 – Televisão antiga. No ecrã “desenho aqui como se fosse a televisão em pausa, informação (dos níveis de CO<sub>2</sub>)”; os botões laterais as luzes do semáforo; escreveram ainda possibilidades de materiais a utilizar “PVC, cartão ou balça madeira”
- b) ideia 2 – “CO<sub>2</sub> mau a flor murchar”, “CO<sub>2</sub> bom a flor bonita” “como fazer? Não sabemos” a informação dos níveis de CO<sub>2</sub> está localizada no vaso;
- c) ideia 3 – mala – “lá dentro está a cena tipo fundo falso” a informação dos níveis de CO<sub>2</sub> está localizada no fecho da mala

### *Design evaluation* (3.DE)

Devido a obstáculos que consideraram que não iam conseguir ultrapassar, nomeadamente dificuldade em conceptualizar e realizar a ideia da planta e da mala, os elementos do grupo 4 optaram por construir uma televisão antiga conforme as notas de campo do investigador observador.

“Os alunos conceberam várias ideias para o protótipo, mas, tendo em consideração a sua viabilidade, decidiram construir uma televisão. Esta escolha alinhava-se mais com a ideia do projeto: criar um televisor que informasse a qualidade do ar, semelhante a um boletim meteorológico.” (NC-22/03/2024)

Relativamente à segunda ideia, planta que murcha com níveis de dióxido de carbono elevados, neste caso concentração superior 1000 ppm, podia dar uma ideia científica errada, uma vez que esta concentração de CO<sub>2</sub> poderia ser ótima para o processo fotossintético

### *Brainstorming and planning* (4.BP)

O grupo 4 iniciou nova fase de *brainstorming* e planeamento, planificando o protótipo, efetuando medições, tal como evidencia a Figura 4.27 e discutindo opções estéticas.

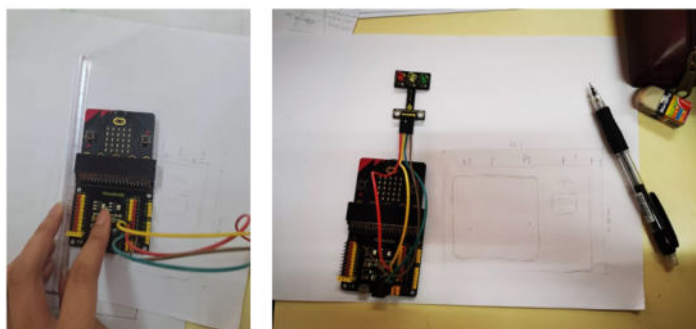


Figura 4.27– Fotografias do processo de planeamento e planificação do grupo 4

Relativamente à seleção de materiais o grupo decidiu efetuar a,

“estrutura de cartão e depois revestido pelo papel eva para ficar um bocado mais fofo” (RV)

Deste modo foi efetuada uma seleção de materiais, nomeadamente o cartão para a estrutura inicial, por conferir alguma rigidez e ser economicamente acessível. A escolha do cartão refletiu ainda uma decisão baseada na leveza e facilidade de transporte do futuro protótipo.

“mas decidimos optar pela televisão porque é uma coisa básica de se transportar” (RV)

A opção pela conceção da televisão, teve também como premissa o ser um objeto fácil de transportar, com interesse para os destinatários uma vez que é um formato familiar que possibilitaria a informação sobre a qualidade do ar, como se estivesse a transmitir um programa de meteorologia, tal como evidenciado nas notas de campo do investigador, referidas anteriormente, e no registo vídeo:

“meteorologia, tipo ela [meteorologia, o programa de meteorologia] aparece e achamos que seria uma boa ideia colocar na televisão” (RV)

Nesta etapa e seguintes, ocorreu uma divisão clara de tarefas: metade dos elementos ficou responsável pela planificação e execução da programação e os restantes pela planificação e posterior construção do protótipo, como mostra o registo vídeo:

“nós começávamos por dividir o grupo em dois: um grupo focou-se [planificação e execução] informática e o outro a [planear e] construir o protótipo. O melhor é que depois discutíamos as ideias juntos, víamos o que poderíamos fazer para adaptar e para se encaixarem as ideias umas nas outras” (RV)

### *Design and construct (5.DC)*

No processo de prototipagem, evidente nas fotografias da Figura 4.28, a divisão de tarefas iniciada na etapa anterior, foi muito bem conseguida uma vez que houve uma articulação constante e sistemática ao longo do processo de prototipagem, evidenciada nas notas de campo do investigador observador.

“Assim como os alunos do grupo 3, os alunos do grupo 4 demonstraram uma clara divisão de tarefas. Um dos membros do grupo dedicou especial atenção à programação do sensor de dióxido de carbono, enquanto os restantes trabalharam na criação e construção do protótipo. No entanto, a aluna mais envolvida na programação manteve uma constante colaboração com os colegas, tanto na articulação da escolha dos componentes a usar quanto na idealização de soluções para o protótipo.” (NC-05/04/2024)

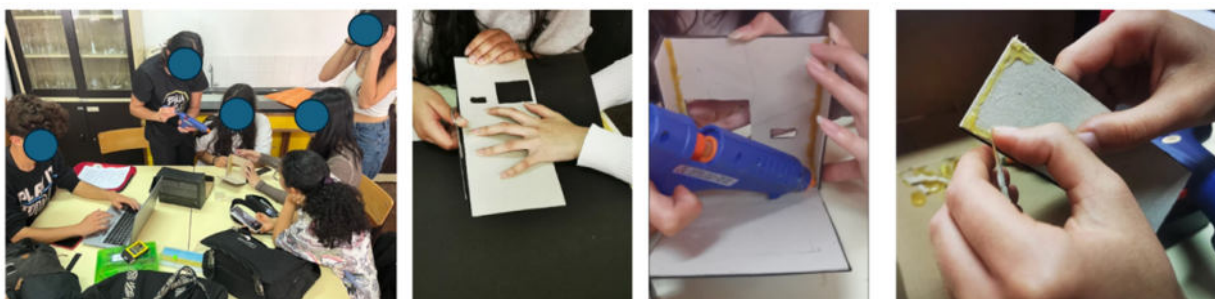


Figura 4.28– Fotografias do processo de prototipagem do grupo 4.

### *Design evaluation (6.DE)*

O grupo efetuou várias testagens, quer ao nível da programação do Micro:bit, quer ao nível da realização do protótipo, o que pode ser comprovado pela nota de campo seguinte:

“Para testar a funcionalidade do sensor e a programação, os alunos realizaram várias experiências, utilizando o fumo de uma lamparina como fonte de dióxido de carbono.” (NC-05/04/2024)

Posteriormente, o grupo optou pela seguinte programação, tal como consta na produção escrita dos alunos:

“Quando os níveis de CO<sub>2</sub> estão dentro da faixa aceitável, o semáforo verde acende não há emissão de som, e aparece no painel uma cara sorridente. Para valores entre 600 e 1000 ppm, o semáforo fica amarelo sendo emitido um som com períodos relativamente curtos. No painel surge uma cara neutra. Por fim, quando a leitura de CO<sub>2</sub> ultrapassa o limite aceitável o semáforo fica vermelho, o som emitido é mais rápido, com períodos ainda menores, surgindo no painel uma cara triste. Estas variações sonoras são projetadas para fornecer avisos claros e eficazes sobre a qualidade do ar, contribuindo assim para uma representação auditiva dos diferentes níveis de CO<sub>2</sub>.”

Ainda avaliando a concepção e constrangimentos, o grupo considerou que devia tornar o protótipo mais realista, discutindo a melhor forma de o efetivar.

*Brainstorming and planning* (7.BP), *Problem scoping* (8.PS) e *Brainstorming and planning* (9.BP)

Novamente em *brainstorming* o grupo decidiu introduzir um botão de ligar e desligar, como evidenciado nas notas de campo do investigador observador.

“Os alunos consideraram que, para tornar o seu protótipo mais realista e aproximado a um televisor, seria necessário incluir um botão de ligar e desligar. Para implementar essa ideia, solicitaram ajuda aos professores da disciplina e perguntaram se seria possível usar um novo componente.”(NC-5/04/2024)

Posteriormente, para introduzir este novo componente os alunos investigaram e compreenderam o modo de programar o botão de ligar e desligar, concretizando essa pesquisa através da sua programação, como evidenciado nas notas de campo do investigador observador.

“Ao receber o novo componente os alunos pesquisaram como programá-lo e desenvolveram uma nova programação do sensor. Com a nova programação, a concentração de dióxido de carbono só era medida após pressionar o botão e enquanto este estivesse pressionado. Modificaram e adaptaram a estrutura para incluir o botão”(NC 10/04/2024).

Após a efetivação da programação do botão de ligar e desligar, nova discussão e partilha de ideias sobre o modo como encaixar o novo componente. As notas de campo do investigador evidenciam o modo como foi efetuado este *brainstorming*:

“Durante a discussão esteve bem presente que não queriam danificar o protótipo criado. Pensaram em como fazê-lo. De repente, um dos alunos foi ter com o professor e foram ambos à sala ao lado, sala de apoio ao laboratório, para ver se encontravam algum material que pudesse ser útil. Regressaram para junto dos colegas com uma tampa preta de uma caixa de sapatos na mão. Discutiram sobre a viabilidade da utilização desta tampa e planificaram as melhorias a efetuar. Para não danificarem a estrutura já construída, teriam de cortar a tampa da caixa de sapatos e colar o protótipo, previamente construído, sobre a mesma. Depois teriam de furar a tampa de modo a permitir a colocação do botão de ligar e desligar”(NC-10/04/2024)

### *Redesign and improvement (10.RI)*

Após discussão e planeamento sobre o modo como adaptar a estrutura criada para incluir o botão, este foi incorporado na estrutura já construída, Figura 4.29.

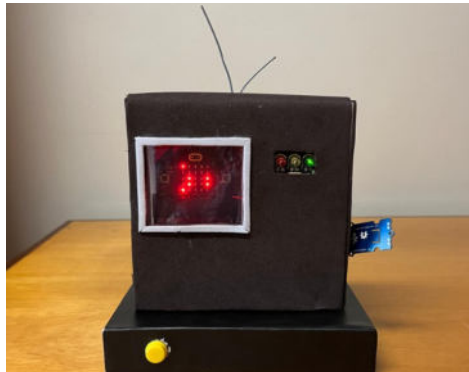


Figura 4.29– Fotografia do protótipo do grupo 4 com a introdução do botão de ligar/desligar.

O botão é usado para iniciar a leitura dos níveis de dióxido de carbono, imitando deste modo um botão ligar/desligar a televisão, constituindo-se como uma melhoria. Esta iniciativa demonstra a capacidade dos alunos de identificar necessidades adicionais para melhorar o seu protótipo e a sua disposição para procurar recursos e informações de forma independente. Ao integrar o novo componente, os alunos demonstraram um processo de *design* iterativo e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.

### *Design evaluation (11.DE), Brainstorming and planning (12.BP) e Redesign and improvement (13.RI)*

Avaliando, novamente, a conceção do protótipo após a melhoria introduzida, um novo desafio surgiu ao grupo, ter fácil acesso às pilhas e a todos os componentes que se encontram no interior da televisão, mas simultaneamente fechar a estrutura com segurança de modo que todos os componentes ficassem protegidos, sem alterar a estrutura base, conforme referido nas notas de campo do investigador observador.

“Após montarem toda a estrutura do protótipo, os alunos perceberam que teriam de aceder ao interior do televisor para desligar o cabo das baterias, o que comprometeria a integridade e robustez do protótipo. Em vez de optarem por uma solução provisória, o grupo decidiu fazer um furo na parte de trás do "televisor" e prender uma fita, permitindo abrir e fechar o protótipo sempre que necessário, atando e desatando o laço. Desta forma, os componentes permaneciam seguros e era possível desligar o cabo de alimentação quando necessário”(NC- 10/04/2024)

Este novo *brainstorming* traduziu-se numa alteração do protótipo. Assim o grupo optou por furar a parte de baixo da estrutura e a parte de trás e, com um fio, dar um laço de modo a permitir o seu fecho, mantendo os componentes seguros, e a sua abertura, para colocar pilhas, como evidenciado na Figura 4.30, o que culminou numa melhoria do protótipo.



Figura 4.30– Fotografia do protótipo do grupo 4 com a introdução da fita.

Esta permite a abertura e fecho da estrutura, por forma a esconder os cabos e aceder às pilhas sem desmanchar a estrutura.

#### *Design evaluation* (14.DE) e *Brainstorming and planning* (15.BP)

O grupo avaliou novamente o protótipo em termos facilidade de transporte e materiais usados, conforme evidenciado no registo vídeo:

“o cartão não é um bom material e por isso, se tivéssemos mais investimento, provavelmente iríamos mudar o cartão para madeira e optar por [realizar o protótipo] um pouco maior e talvez [colocássemos] umas rodas para andar mais facilmente e uma pega para ser mais fácil no transporte”. [Se fizéssemos outras versões faríamos] como se fosse uma mochila para andar por trás, para ser mais fácil o transporte do protótipo” (RV)

Como é possível verificar através do registo vídeo, o grupo efetuou novo *brainstorming* apresentando claramente sugestões de melhoria face ao trabalho desenvolvido.

Através da análise dos resultados do grupo 4 é possível considerar o seu processo de trabalho como uma busca constante e sistemática por uma melhoria do protótipo, que culminou num protótipo funcional, robusto e com preocupações estéticas, que permite a medição da concentração de CO<sub>2</sub>. Inicialmente foram consideradas três possíveis ideias de protótipo, todas viáveis, no entanto, fruto da avaliação efetuada pelo grupo, optaram por uma que foi sendo melhorada progressivamente.

O processo de *Design Thinking* deste grupo, o mais complexo de todos, passou por todas as etapas, sendo que a etapa de *brainstorming and planning* (BP) é a que surge como a de maior frequência, tendo sido iniciado o quinto ciclo de *design*. Os dois primeiros ciclos de *design*, assim

como o início do terceiro, foram exatamente iguais aos do grupo 2, isto é, ocorreu a exploração sequencial das etapas *Problem scoping* (1.PS), *Brainstorming and planning* (2.BP) e *Design evaluation* (3.DE) o que conduziu ao início do segundo ciclo de *design* com novo *Brainstorming and planning* (4.BP), *Design and construct* (5.DC) seguido de *Design evaluation* (6.DE), iniciando-se o terceiro ciclo de *design* com novo *Brainstorming and planning* (7.BP), seguido de novo *Problem scoping* (8.PS). Após esta etapa o grupo 4 passou por novo *Brainstorming and planning* (9.BP), terminando o terceiro ciclo com uma melhoria do protótipo, etapa *Redesign and improvement* (10.RI).

O grupo 4 iniciou o quarto ciclo de *design* efetuando nova avaliação do protótipo, *Design evaluation* (11.DE) seguido de novo *brainstorming* e planeamento (12.BP), redesenhando, posteriormente o protótipo, melhorando-o *Redesign and improvement* (13.RI). Não satisfeitos efetuaram nova avaliação, *Design evaluation* (14.DE) e novo *brainstorming and planning* (15.BP) com vista a uma nova melhoria.

São vários os motivos que podem ter levado o grupo 4 a percorrer mais ciclos. Por um lado, uma avaliação constante do trabalho efetuado, o que se traduziu numa maior exigência e empenho. Por outro, uma ótima forma de trabalhar em grupo.

Em oposição ao percurso deste grupo, o grupo 5 percorreu apenas 2 ciclos de *design* conforme será explanado a seguir.

## Grupo 5

O desenvolvimento do processo de *Design Thinking* do grupo 5, foi diferente dos restantes grupos, principalmente do grupo descrito anteriormente. À semelhança dos restantes grupos, o processo de *design* caracterizou-se por percorrer as diferentes etapas, porém, os resultados mostram terem ocorrido diferenças no seu percurso, descritas em seguida.

### *Problem scoping* (1.PS)

No âmbito desta etapa, o grupo 5 sistematizou as principais ideias sobre a problemática em estudo, como é possível verificar na produção escrita, Figura 4.31, que apresenta algumas incorreções, nomeadamente ao nível da escrita da fórmula química do CO<sub>2</sub>.



Figura 4.31– Produção escrita dos alunos do grupo 5 sistematizando a informação recolhida sobre a problemática em estudo.

As fotografias presentes na Figura 4.32, retratam a exploração de opções tecnológicas, efetuadas pelo grupo 5: o buzzer, semáforo e sensor de CO<sub>2</sub> no contexto da imersão na problemática em estudo.

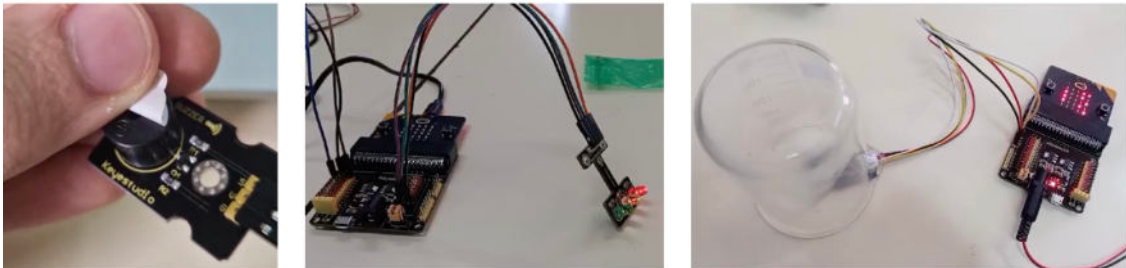


Figura 4.32- Fotografias dos elementos do grupo 5 na exploração de opções tecnológicas, buzzer, semáforo e sensor de CO<sub>2</sub>.

### *Brainstorming and planning (2.BP)*

Durante esta etapa, o grupo estabeleceu primeiramente os critérios de seleção de materiais. Estes teriam de ser materiais “sustentáveis” e reutilizáveis.

“os critérios utilizados na seleção dos materiais resumiram-se um pouco ao que havia à mão, uma vez que o projeto está relacionado com a sustentabilidade e a reciclagem de forma indireta, o cartão e as plantas secas estão disponíveis em qualquer casa e em qualquer espaço verde” (RV-G5)

De seguida, o grupo definiu a ideia subjacente ao protótipo, conforme referido no registo vídeo:

“O nosso protótipo é uma estufa devido à temática ambiental do projeto”, alertando desde modo para a importância dos seres produtores, nomeadamente as plantas, na renovação da qualidade do ar atmosférico consumindo o dióxido de carbono e libertando oxigénio. A estufa é uma “estrutura prática, robusta mas também atrativa” (RV)

Posteriormente, o grupo planeou a construção do protótipo, como evidenciam as produções escritas dos alunos presentes na Figura 4.33.

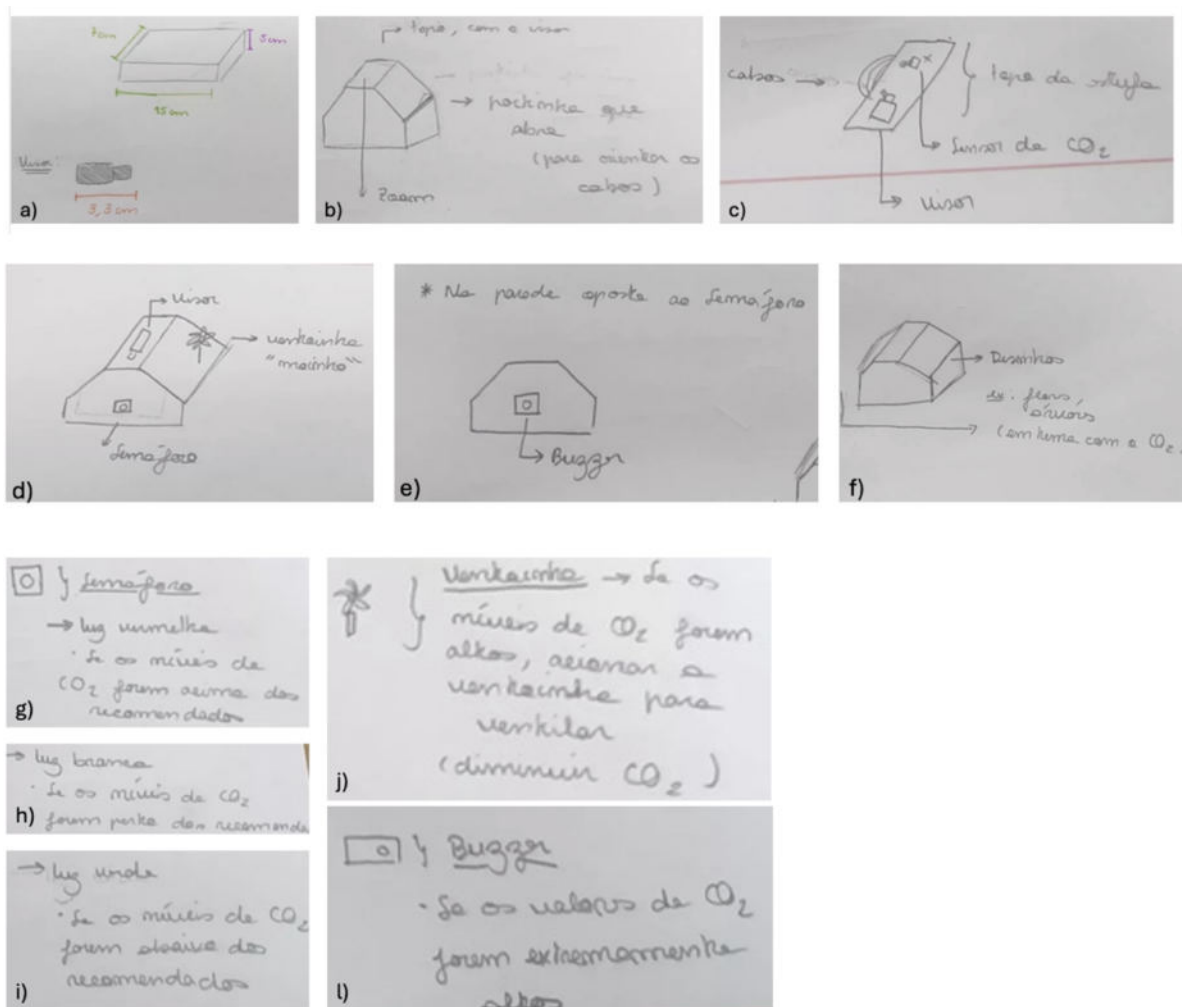


Figura 4.33 – Produções escritas dos alunos do grupo 5 referente à fase de planeamento.

a) refere as dimensões do microbit e a dimensão do visor; b) desenho da estufa onde se lê: “topo com visor” e “portinha que abre para orientar os cabos”; c) lê-se: “topo da estufa” “sensor de CO<sub>2</sub>” “visor” e “cabos”; d) planificação de cima e lateral onde se lê: “visor”, “ventoinha - moinho”, semáforo; e) planificação lateral onde se lê: “na parede oposta ao semáforo” “buzzer”; f) estufa, onde se lê: “desenho ex flores e árvores” “ em tema com o CO<sub>2</sub>”;

g) h) i) significado do semáforo, onde se lê: “luz vermelha se os níveis de CO<sub>2</sub> forem acima dos recomendados” “luz branca se os níveis de CO<sub>2</sub> forem perto dos recomendados” “luz verde se os níveis de CO<sub>2</sub> forem abaixo dos recomendados”; j) planificação da ventoinha – se os níveis de CO<sub>2</sub> forem altos aciona a ventoinha para ventilar (diminuir o CO<sub>2</sub>); l) “Buzzer – se os valores de CO<sub>2</sub> forem extremamente altos”

A planificação apresentada ilustra todo o processo de *brainstorming* e um planeamento bem estruturado.

Os alunos definiram a ideia protótipo, o qual teria o formato de uma estufa, refletindo deste modo a temática ambiental constituindo-se como uma estrutura robusta, prática e atrativa.

Discutiram, posteriormente, a programação do micro:bit como componente principal para detetar e exibir os níveis de CO<sub>2</sub> e idealizaram, desde logo, a possibilidade de colocar um novo componente tecnológico, a ventoinha.

### *Design and construct (3.DC)*

Durante a prototipagem o grupo dividiu claramente tarefas. Enquanto uns alunos se dedicaram à construção do protótipo, os restantes testaram o sensor de dióxido de carbono e discutiram como melhorar a programação e integrar novos componentes, evidenciado nas notas de campo do investigador observador.

“Um dos elementos do grupo 5 já tinha experiência prévia com sensores e Micro:bit, o que facilitou uma clara divisão das tarefas. Aspeto curioso: Os alunos de Ciências dedicaram-se à construção do protótipo e os alunos de Artes à programação e aspetos científicos”. (NC 12/04/2024)

Relativamente à construção física da estufa, evidenciada nas fotografias presentes na Figura 4.34, a escolha do cartão revelou-se um obstáculo devido à sua dureza, conforme o registo vídeo seguinte:

“a montagem do protótipo foi um desafio para nós uma vez que, trabalhar com cartão rijo como o que utilizamos não se verificou tão fácil como esperávamos, tendo sido necessário adaptar, várias vezes, as medidas iniciais, bem como estrutura” RV.

Houve necessidade, durante o processo de prototipagem, de utilizar parafusos e outros componentes mais duros para resolver o problema da moldagem do cartão

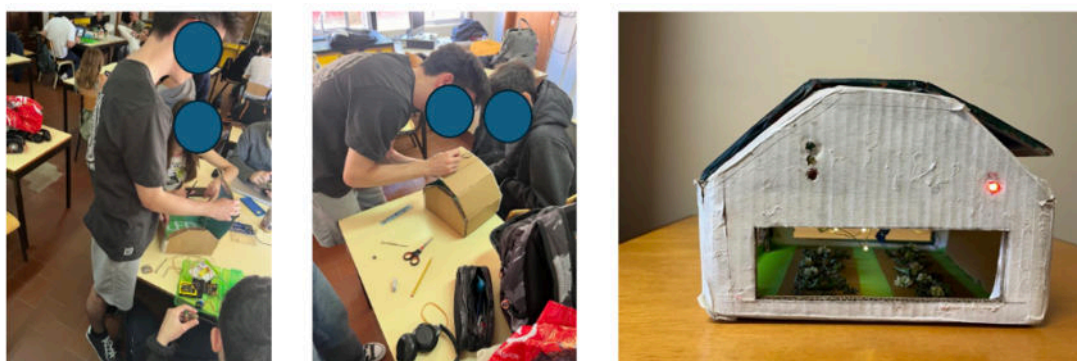


Figura 4.34 – Fotografias do processo de prototipagem por elementos do grupo 5 e protótipo final.

#### *Design evaluation (4.DE)*

O grupo efetuou várias testagens ao nível da programação para medição do nível de CO<sub>2</sub>. Primeiramente executou o que estava planificado relativamente ao semáforo, ao som (buzzer) e ventoinha. Posteriormente considerou que a ventoinha não acrescentava nada de valor ao protótipo e abandonou a ideia, evidenciado nas notas de campo do investigador observador,

“Os alunos solicitaram ajuda ao professor para programar a ventoinha, visto que não era um elemento que inicialmente tinham testado. Ao perceberem que, apesar de girar, a ventoinha não causava o efeito desejado - ventilar o espaço quando os níveis de dióxido de carbono fossem elevados - decidiram abandonar a ideia de a utilizar” (NC 12/04/2024)

Ao longo do processo houve uma avaliação das soluções tecnológicas para expressar a leitura do CO<sub>2</sub>. No final, o grupo optou pela seguinte solução, conforme evidenciado no protótipo em funcionamento: acender a luz verde e uma música para valores ótimos de CO<sub>2</sub>, inferiores a 400 ppm; luz amarela e uma música diferente da utilizada para os valores ótimos, para valores aceitáveis, com concentração de CO<sub>2</sub> entre os 400 e os 800ppm; e luz vermelha e uma outra música, diferente, para altos valores de CO<sub>2</sub>, superiores a 800 ppm.

Os episódios descritos ilustram a capacidade dos alunos em testar e avaliar criticamente a eficácia dos componentes do seu protótipo. Por exemplo, a decisão de abandonar a ventoinha após constatar a sua ineficácia demonstra um entendimento pragmático do processo de desenvolvimento de projetos, onde a adaptabilidade e a disposição para reconsiderar abordagens são fundamentais para alcançar resultados otimizados.

#### *Brainstorming and planning (5.BP) e Problem scoping (6.PS)*

No sentido de reformular a planificação inicial, os alunos discutiram a programação do Micro:bit como componente principal para detetar e exibir os níveis de CO<sub>2</sub>, e a inclusão de funcionalidades para sinalizar erros e facilitar correções. Investigaram sobre o modo de programar os novos componentes, conforme evidenciado nas notas de campo.

“Um dos elementos do grupo 5 já tinha experiência prévia com sensores (...). Este conhecimento prévio, associado a nova pesquisa sobre programação de novos componentes, permitiu ao grupo desenvolver uma programação mais complexa e incluir outros elementos tecnológicos, como LEDs que iluminavam o interior da estufa, algo que nenhum outro grupo utilizou.” (NC-12/04/2024)

### *Redesign and improvement (7.RI)*

No protótipo final foram adicionados novos componentes: uma luz que indica se o protótipo está a efetuar a medição ou não e os LEDs, constituindo-se como uma melhoria, evidenciado pelas fotografias presentes na Figura 4.35.



Figura 4.35– Fotografias do protótipo final do grupo 5 a efetuar as medições de CO<sub>2</sub> com a presença da luz vermelha no lado direito da estufa, sendo visível os LEDs a iluminar o interior da estufa.

Em síntese, no desenvolvimento do protótipo os alunos do grupo 5 percorreram todas as etapas do *Design Thinking*. Consta-se que o protótipo final, que responde aos requisitos solicitados, resultou da primeira ideia considerada, tendo sido reformulada ao longo do processo. O percurso é o que mais se aproxima do percorrido pelo grupo 3 e juntamente com este, o que mais se afasta do talhado pelo grupo 4.

O grupo 5 percorreu dois ciclos de *design*, do seguinte modo: *Problem scoping* (1.PS), *Brainstorming and planning* (2.BP), *Design and construct* (3.DC), *Design evaluation* (4.DE), seguido de novo *Brainstorming and planning* (5.BP) e novo *Problem scoping* (6.PS), o que conduziu a *Redesign and improvement* (7.RI).

## **4.2. Conhecimento da criatividade e relação com o processo de *Design Thinking* dos alunos**

Nesta secção será analisada a criatividade nas diferentes dimensões de evidências criativas consideradas no presente trabalho em que as dimensões I e II concorrem para o *Act* e as dimensões III e IV para o *Flow*:

I: Incorporação de uma solução anteriormente utilizada de uma nova forma; abordagem do problema a partir de diferentes perspetivas para encontrar uma solução.

II: Criação de uma ligação entre o problema proposto e uma situação relacionada; tentativa de pensar/imaginar várias soluções para resolver um problema (não aceitar imediatamente a primeira solução); junção de conceitos não relacionados para criar uma ideia/solução.

III: Imersão na resolução do problema; sensação de trabalho sem esforço.

IV: Proatividade, comunicação de ideias e interação entre alunos dos diferentes cursos.

A análise dos dados recolhidos por meio dos instrumentos descritos anteriormente, capítulo 3, permitiu avaliar os níveis de criatividade dos grupos de alunos considerando diversos critérios. Estes resultados estão compilados no Gráfico 4.1.

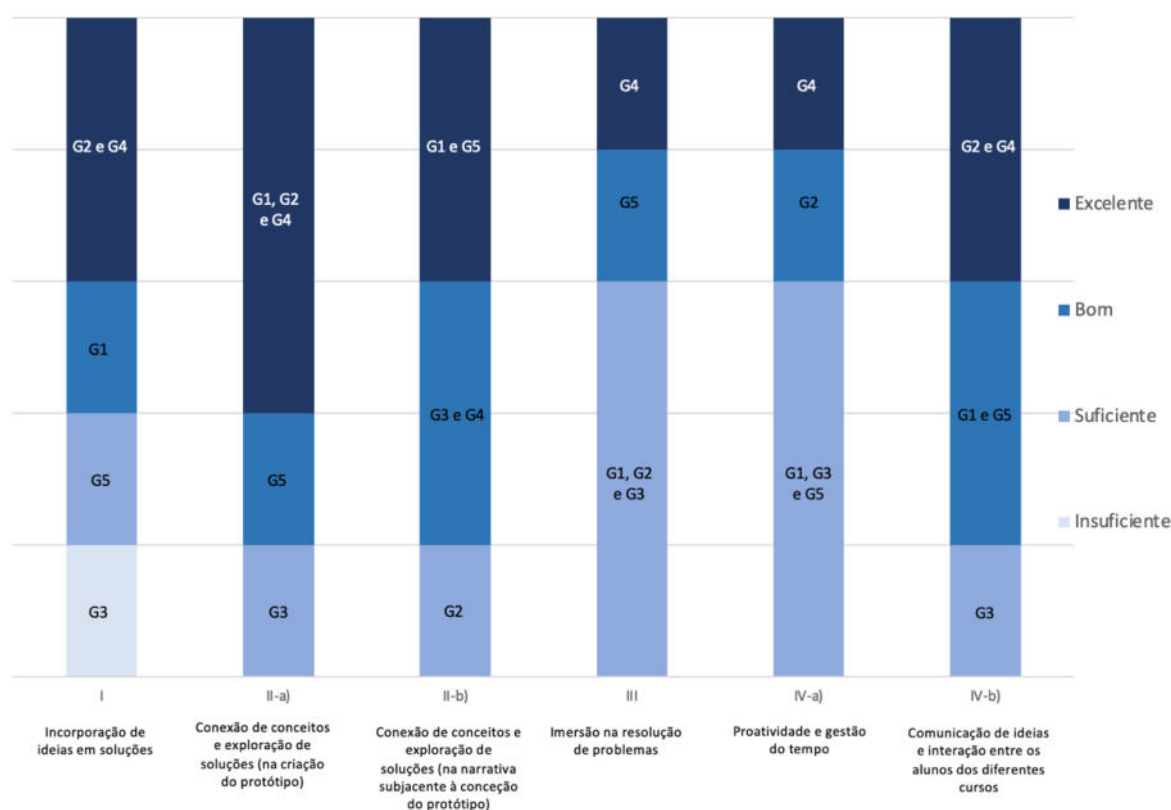


Gráfico 4.1 - Classificação obtida em cada dimensão de evidência criativa por grupo de alunos.

A frequência absoluta refere-se ao número de grupos alunos (total de 5).

Com base nestes resultados, é possível verificar que as tarefas STEAM realizadas possibilitaram o desenvolvimento da criatividade dos grupos dos alunos em várias dimensões. No que se refere à incorporação de ideias previamente utilizadas em novas soluções ou à procura de soluções através da abordagem de um problema a partir de diferentes perspetivas (I), verifica-se que 60% dos grupos atingiram níveis bons ou excelentes.

Quando se analisa a dimensão II (a e b), capacidade dos alunos em conectar conceitos e em explorar novas soluções, constata-se que 80% dos grupos atingiu um nível bom ou excelente, quer em termos da construção do protótipo final, quer em termos de narrativa subjacente ao protótipo, sendo que, apenas um grupo, obteve a classificação de suficiente. De notar que, o grupo que atingiu suficiente no II a) não é o mesmo que foi classificado com suficiente em II b).

Por um lado, considerando as dimensões mais relacionadas com o empenho dos alunos (III) e com o ambiente entre os elementos do grupo, para a realização de trabalhos criativos, em termos de proatividade e gestão do tempo (IV a) apenas 40% dos grupos atingiram os níveis bom e excelente. Por outro lado, considerando a dimensão comunicação de ideias e interação entre os alunos dos diferentes cursos (IV b) novamente 80% dos grupos atingiu níveis de bom e excelente.

O Gráfico 4.2 sistematiza, por grupo de trabalho, as classificações obtidas em cada uma das dimensões de evidências criativas.

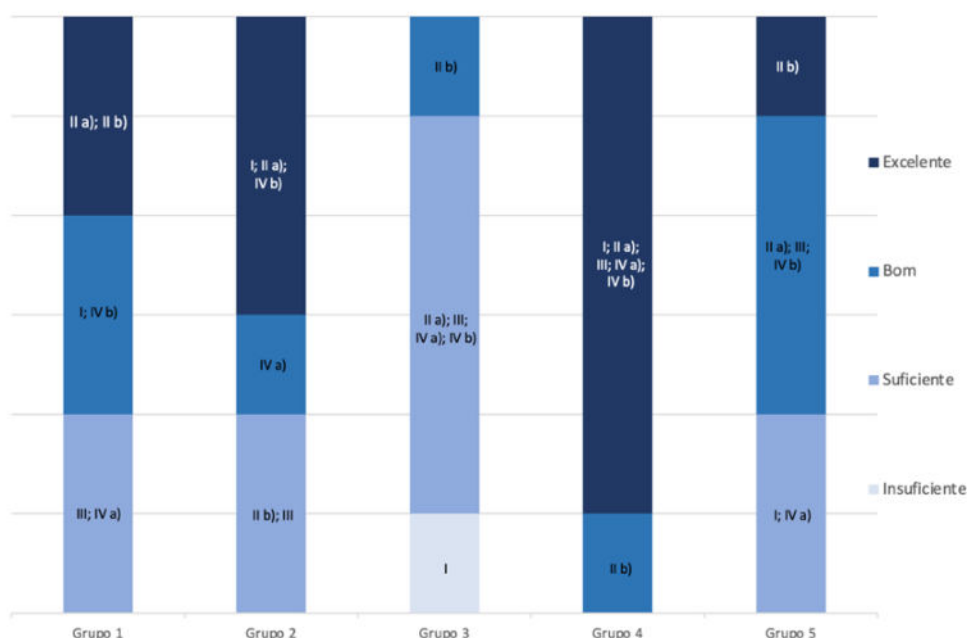


Gráfico 4.2 - Classificação, por grupo de trabalho, obtida em cada uma das dimensões de evidências criativas. A frequência absoluta refere-se ao número de dimensões de evidências criativas consideradas (total de 6).

Com base nestes resultados verifica-se que o grupo 4 teve bom ou excelente em todas as dimensões criativas consideradas em oposição ao grupo 3 que obteve apenas a classificação de bom ou superior em apenas uma dimensão. Os restantes grupos, 1, 2 e 5, obtiveram a classificação de bom ou superior em quatro das seis dimensões de evidências criativas, mas de modo diversificado.

Cada dimensão de evidência criativa (I-IV) será aqui analisada em três subsecções, sendo a dimensão I analisada na primeira subsecção (4.2.1), depois as dimensões IIa) e IIb) na segunda subsecção (4.2.2) e, finalmente, as dimensões III e IV (a e b), evidências de um ambiente propenso à criatividade, na terceira subsecção (4.2.3). Nestas subsecções, é apresentada uma descrição da avaliação por nível que foi considerada, juntamente com alguns exemplos justificativos para as classificações atribuídas, fundamentadas com base nas produções escritas dos alunos, notas de campo e ou registo vídeo previamente apresentadas na secção 4.1. Salienta-se que esta classificação incide sobre a construção dos protótipos finais e da narrativa subjacente.

### 4.2.1 - Incorporação de ideias em soluções

Relativamente à dimensão de evidência criativa I, incorporação de uma solução anteriormente utilizada de uma nova forma e abordagem do problema a partir de diferentes perspetivas para encontrar uma solução, os diferentes grupos situaram-se em diferentes patamares de desempenho, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Exemplos que conduziram à atribuição dos níveis de classificação da criatividade dos alunos, relativamente à dimensão I, tendo por base o apresentado e descrito na secção relativa ao *Design Thinking* (secção 4.1.)

Dimensão de evidência criativa	Insuficiente	Suficiente	Bom	Excelente
I: Incorporação de uma solução anteriormente utilizada de uma nova forma; abordagem do problema a partir de diferentes perspetivas para encontrar uma solução.	Grupo 3: - permaneceu na ideia inicial do protótipo em forma de maço de tabaco, sem exploração de diferentes opções.	Grupo 5: - permaneceu na ideia inicial da estufa, testando soluções como por exemplo, por um lado a não inclusão da ventoinha e por outro a inclusão no Micro:bit de funcionalidades para sinalizar erros e facilitar correções, bem como LEDs, na estrutura do protótipo final.	Grupo 1: - para responder ao pretendido, alterou radicalmente as ideias iniciais, a ideia de uma nuvem ou de um olho, acabando por prototipar uma nave espacial, com exploração de diversas opções em termos de materiais e de programação.	Grupo 2: - alterou a ideia inicial, o que começou por ser um carro a transportar o planeta Terra, passou de seguida a ser uma nuvem, com a planificação de diversos tipos de relâmpagos; com exploração de diferentes tipos de som até à adaptação da nuvem para uma árvore, em consequência da dificuldade em criar um raio; e Grupo 4: - alterou a ideia inicial do seu protótipo em forma de televisor para corresponder ao pretendido, com grande exploração de diversas opções

Os alunos desenvolveram uma grande variedade de protótipos produzidos entre os diferentes grupos, para avaliar a concentração de CO<sub>2</sub>. Tal foi conseguido através da exploração de soluções com diferentes perspetivas (explorando materiais ou outras variáveis) ou incorporando-as de uma nova forma.

Por exemplo, o grupo 4, alterou a ideia inicial do seu protótipo e a própria estrutura do mesmo para corresponder ao pretendido, com grande exploração diversas opções. Partiu de três ideias possíveis, evidenciadas nas produções escritas apresentadas na Figura 4.26 página 79, e à medida que foi desenvolvendo o seu protótipo foi explorando em pormenor diversas opções para corresponder ao pretendido, até chegar ao protótipo final, evidenciado pela fotografia da Figura 4.29, página 83.

Como descrito em pormenor secção relativa ao *Design Thinking* (secção 4.1.), o grupo 4 efetuou a construção do seu protótipo, tendo por base uma seleção de materiais, explorando sempre várias opções. Optou pela introdução de um novo componente eletrónico, um botão de ligar e desligar, para iniciar a medição da concentração de CO<sub>2</sub>, efetivando a programação desse botão e inserindo-o de forma criativa na estrutura do protótipo até então construída. Após esta melhoria efetuada, o grupo teve de pensar criativamente a forma aceder às pilhas e a todos os componentes que se encontram no interior do protótipo, mas simultaneamente fechar a estrutura com segurança de modo que todos os componentes ficassem protegidos, sem alterar a estrutura base tendo optado por furar a parte de baixo da estrutura e a parte de trás e, com um fio, dar um laço de modo a permitir o seu fecho. O grupo 4 é um exemplo de um grupo que foi classificado com excelente nesta dimensão.

Para os restantes grupos, a descrição realizada e evidências fornecidas na secção 4.1., a partir das produções escritas dos alunos, das notas de campo do observador e do registo vídeo, justificam os níveis atribuídos no desenvolvimento da criatividade, na dimensão de evidência criativa I, sistematizadas na Tabela 4.1.

Por exemplo, a exploração do grupo 2, que levou à criação de um protótipo em forma de árvore com uma nuvem em cima, assim como a do grupo 4 que construiu um protótipo em forma de televisão, incorporando várias soluções, permitiu-lhes obter o nível excelente na dimensão I.

Os grupos 1, 2 e 4 destacaram-se (com níveis bons ou excelentes) na dimensão I da criatividade, pelo que puderam, posteriormente, construir protótipos criativos, como se verificará na subsecção seguinte. No entanto, em termos de narrativa clara subjacente ao protótipo, o mesmo não sucedeu.

## 4.2.2 – Conexão de conceitos e exploração de soluções - Act

Para além da resolução de problemas associados à conceção de um protótipo que avaliasse a concentração de CO<sub>2</sub>, os alunos tiveram de mobilizar conhecimentos científicos, artísticos e tecnológicos para os resolver, testando várias soluções. Este facto conduziu a um nível elevado de exploração de diferentes soluções e de resolução de problemas. Esta exploração ocorreu não só durante a construção dos protótipos (dimensão IIa), mas também na existência ou não de uma narrativa subjacente à ideia do protótipo (dimensão IIb), como ilustra a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Exemplos que conduziram ao posicionamento dos diferentes grupos nas diferentes menções relativas à classificação da criatividade, relativamente às dimensões IIa) e IIb), tendo por base o apresentado e descrito na secção relativa ao *Design Thinking* (secção 4.1.)

Dimensão de evidência criativa		Insuficiente	Suficiente	Bom	Excelente
II: Conexão entre o problema proposto e uma situação relacionada; tentativa de pensar/imaginar várias soluções para resolver um problema (não aceitar imediatamente a primeira solução); junção de conceitos não relacionados para criar uma ideia/solução	IIa) -Construção do protótipo		Grupo 3- O grupo mobilizou conhecimentos tecnológicos relevantes nomeadamente na programação de um LED vermelho.	Grupo 5- Programação de componentes tecnológicos para detetar se se está a efetuar a leitura de CO <sub>2</sub> ; utilização de LED;	Grupo 1- Problematização e constante colocação de hipóteses e experimentação. As ideias iniciais foram avaliadas tendo em conta o conhecimento mobilizado tendo sido alteradas. Protótipo nave espacial - Proteção e arrumo do sensor quando não está a ser utilizado.  Grupo 2 - Problematização e constante colocação de hipóteses e experimentação. Exploração do tipo de Som associado a um trovão através de IA; testagem e reformulação.  Grupo 4 Problematização e constante colocação de hipóteses e experimentação. Introdução de novos componentes, melhoria sistemática do protótipo, proteção de componentes.
	IIb) – Narrativa/conceitualização subjacente à conceção do protótipo		Grupo 2 - árvore, com uma nuvem em cima.	Grupo 3 - maço de cigarros, fumo do cigarro libertação de CO <sub>2</sub> .  Grupo 4 - televisão como meio de comunicação social que informa sobre os valores de concentração de CO <sub>2</sub> como se um programa de meteorologia se tratasse.	Grupo 1 - A Nave espacial avalia a concentração de CO <sub>2</sub> e só pode aterrar na Terra se os valores forem aceitáveis. Narrativa bem conseguida uma vez que alerta para os níveis globais de dióxido de carbono ao nível planetário, mas que se inicia na minha escola...  Grupo 5 - Por um lado a conceção da estufa remete para o efeito de estufa provocado pelo excesso de CO <sub>2</sub> contribuindo para o aumento da temperatura do planeta. Por outro, as plantas utilizadas no seu interior remetem para a importância dos seres produtores como consumidores de dióxido de carbono e manutenção do equilíbrio dos ecossistemas.

Como revela a Tabela 4.2., à semelhança do que foi observado na dimensão I, os grupos 1, 2 e 4 obtiveram níveis "bom" ou "excelente" na dimensão IIa). Curiosamente, o grupo 5 atinge o patamar bom, embora não o tenha alcançado na dimensão anterior. Relativamente à dimensão IIb) todos os grupos, com a exceção do grupo 2, alcançam o patamar do “bom” ou do “excelente”.

Ao nível da dimensão IIa), os grupos 2 e 4 mantiveram o nível de excelente, e o grupo 1 atingiu-o, uma vez que houve uma problematização constante, aliada a uma sistemática colocação de hipóteses e experimentação, características de um processo científico, que aliado à sensibilidade estética e artística dos alunos de artes e ao conhecimento tecnológico dos diferentes elementos contribuiu para a criação de um protótipo funcional, robusto, transportável e criativo, tal como evidenciado nas produções escritas, registos vídeo e notas de campo apresentados na secção relativa ao *Design Thinking* (secção 4.1.).

O grupo 5 também atingiu um bom nível de criatividade pois efetuou a programação de componentes tecnológicos para detetar se se está a efetuar a leitura de CO<sub>2</sub>, recorreu à utilização de LED e experimentou uma opção inovadora de diferentes tipos de música consoante os níveis de CO<sub>2</sub>. No entanto focou-se apenas nos aspetos mais tecnológicos. O grupo 3, decidiu usar um LED vermelho, conforme notas de campo:

“Todos os grupos aprenderam a programar o semáforo, no entanto, o grupo 3 tomou uma abordagem distinta ao decidir usar apenas o LED vermelho incluído no kit disponibilizado. Este grupo optou por incorporar o LED vermelho para simular o efeito de um cigarro aceso.” (NC-22/03/2024).

Esta decisão reflete coerência no *design*. O grupo não se limitou a utilizar o material da maneira convencional apresentada inicialmente. Ao adaptar os recursos disponíveis para criar um efeito específico, o grupo demonstrou a sua capacidade de pensar fora da caixa e aplicar conhecimentos de maneira inovadora. No entanto, aceitou de imediato a primeira solução.

Por um lado, ao nível da dimensão IIb) os grupos que apresentaram uma narrativa ou ideia conceptualização complexa, bem alicerçada na temática do projeto, enquadradas deste modo ao nível do excelente, foram os grupos 1 e 5, conforme registado na tabela 4.2. Por outro lado, o grupo 2, que nas dimensões I e IIa) teve excelente, obteve neste domínio suficiente, uma vez que os alunos apresentaram uma narrativa que não colocaram em prática na construção do protótipo, mas que foi sendo alterada para corresponder ao protótipo desenvolvido.

Em síntese, o Gráfico 4.3 avalia o desenvolvimento da criatividade (*Act*), por grupo de trabalho.

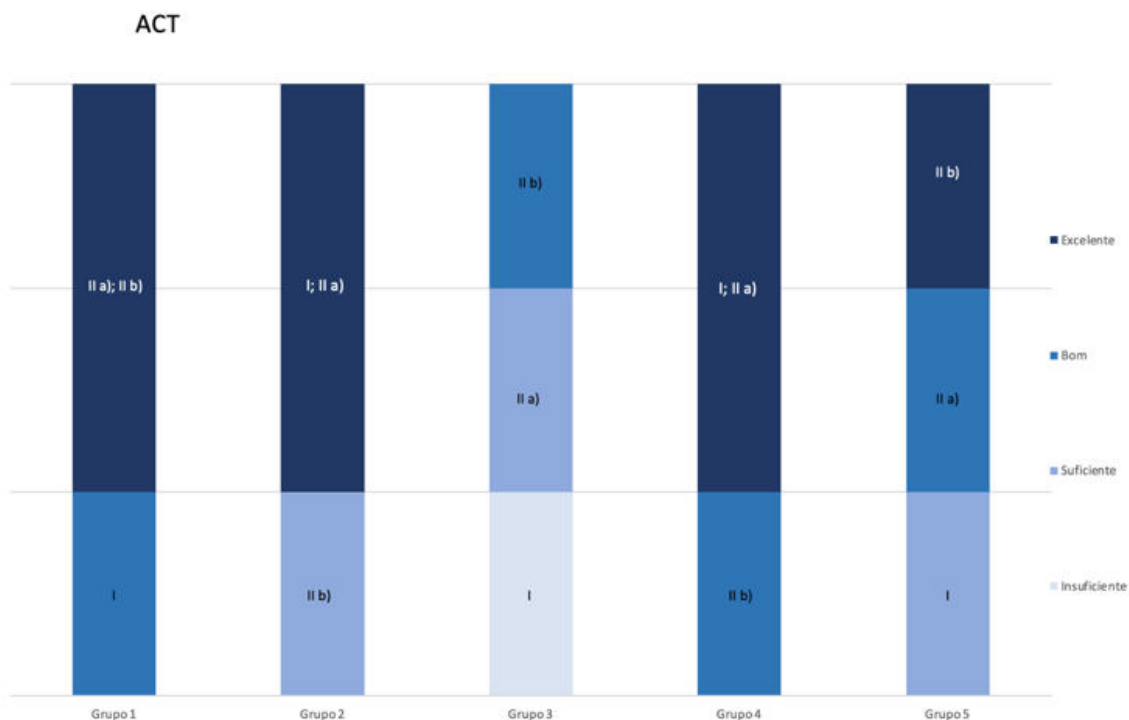


Gráfico 4.3 - Classificação obtida, por cada grupo de trabalho nas dimensões de evidências criativas I e II (*Act*)

Verifica-se que o grupo 4 e o grupo 1 têm, em todas as dimensões de evidências criativas consideradas, a classificação de bom ou excelente em oposição ao grupo 3 que teve, em duas das três dimensões consideradas, classificação igual ou inferior a suficiente.

#### 4.2.3 – Ambiente para o desenvolvimento da criatividade - *Flow*

Nesta subsecção apresentam-se os resultados relacionados com o empenho dos alunos (III) e com o ambiente entre os elementos do grupo, para a realização de trabalhos criativos, em termos de proatividade e gestão do tempo (IV a) e comunicação de ideias e interação entre os alunos dos diferentes cursos (IV b). A Tabela 4.3 sistematiza e justifica a posição dos diferentes grupos, tendo em conta a dimensão de evidência criativa considerada e resulta na sua maioria da análise das notas de campo do investigador não participante.

Dimensão da evidência criativa		Insuficiente	Suficiente	Bom	Excelente
III: Imersão na resolução do problema; sensação de trabalho sem esforço.			<p>Grupo 1 Grupo 2 e Grupo 3  “nem todos os alunos do grupo ficavam na sala quando havia pausas” (NC 12/04/2024)  “O grupo esteve muitas aulas com menos alunos e como tal os elementos presentes ou saíam mais cedo ou saíam assim que tocava”  (NC 05/04/2024)</p>	<p>Grupo 5  “Quando os alunos começaram a construir a estrutura da estufa ficaram, muito envolvidos ficando para além do tempo da aula para terminar a estrutura”  (NC 12/04/2024)</p>	<p>Grupo 4  “Os alunos ficavam sempre depois do tempo da aula e durante o período do intervalo”  (NC-12/04/2024)</p>
IV: Proatividade, comunicação de ideias e interação entre alunos dos diferentes cursos	IV a) proatividade e gestão do tempo		<p>Grupo 1, Grupo 3 e Grupo 5  “O grupo dividiu claramente as tarefas entre os vários elementos. No entanto, uma houve uma falta de planeamento para gerir a incorporação dos elementos tecnológicos e da estrutura em si” (NC - 12/04/2024)  “O grupo esteve muitas aulas com menos alunos e como tal os elementos presentes ou saíam mais cedo ou saíam assim que tocava. Tiveram dificuldade em terminar o trabalho a tempo”  (NC- 05/04/2024)  “Os alunos apresentaram-se geralmente pouco motivados e “amorfos” o que se traduziu fraca troca de ideias e uma má gestão do tempo”  NC- 5/04/2024</p>	<p>Grupo 2  “os alunos discutiram ideias úteis e pertinentes mas nem todos se envolveram com o mesmo empenho e “paixão”  (NC – 5/04/2024)</p>	<p>Grupo 4  “grupo muito coeso, com facilidade e troca de ideias úteis e todos muito empenhados”  (15/03/2024)</p>
	IV b) – Comunicação de ideias e interação entre os alunos de diferentes cursos		<p>Grupo 3  “Clara divisão entre os elementos da turma das ciências e das artes”</p>	<p>Grupo 1 e Grupo 5  “os alunos demonstraram uma partilha interessante de conhecimentos das diferentes áreas, que se complementaram”  (NC-12/04/2024)  “os alunos de artes estavam mais envolvidos na parte da programação e os de Ciências mais empenhados na parte artística da criação do protótipo, ao contrário do que seria de esperar”  (NC- 12/04/2024)</p>	<p>Grupo 2 e Grupo 4  “não consigo identificar quais dos alunos pertencem ao curso de artes e quais pertencem ao de Ciências”  (NC- 12/04/2024)  “... uma das vantagens de trabalhar em grupo é aprendermos a ter uma mente aberta e estarmos dispostos a discutir nova ideias e opiniões. Graças a isto não só conseguimos avançar com uma nova ideia para o nosso trabalho e sinto fizemos algo ainda mais criativo do que tínhamos em mente originalmente.” RV</p>

Tabela 4.3 - Posição dos diferentes grupos tendo em conta a dimensão de evidência criativa considerada.

Como se verifica através da análise da Tabela 4.3 os grupos de alunos envolvidos no projeto demonstraram uma vasta gama de abordagens na resolução do problema, com evidências de exploração criativa em diversas dimensões, conforme documentado nas notas de campo, expressas na tabela 4.3. e nos registos vídeos e produções escritas, apresentadas na secção anterior. Por exemplo, na dimensão III, relacionada com a imersão na resolução do problema e sensação de trabalho sem esforço, observou-se que alguns grupos se destacaram pela sua dedicação contínua ao trabalho. O Grupo 5, durante a construção da estrutura da estufa, mostrou um elevado nível de envolvimento, permanecendo para além do horário das aulas até completar a tarefa. Esta dedicação permitiu ao grupo ajustar o seu protótipo e explorar diversas opções de *design*, garantindo que a estrutura fosse resistente e funcional. Da mesma forma, o Grupo 4 demonstrou grande compromisso ao continuar o trabalho durante os intervalos, evidenciando uma imersão total no processo criativo.

Em contrapartida, o grupo 1, o grupo 2 e o grupo 3 enfrentaram dificuldades em manter esse nível de imersão. Como referido nas notas de campo, os elementos destes grupos, por vezes, saíam mais cedo ou não estavam presentes durante todas as aulas, o que limitou a sua capacidade de explorar plenamente as soluções criativas. Esta falta de envolvimento constante refletiu-se nas dificuldades que enfrentaram, nomeadamente em termos de gestão do tempo, para concluir os seus protótipos.

No que diz respeito à dimensão IV, que avalia a proatividade e gestão do tempo (IV a), comunicação de ideias e a interação entre alunos de diferentes cursos (IV b), os grupos variaram significativamente nas suas abordagens. O grupo 4, por exemplo, demonstrou uma forte coesão, com todos os alunos a contribuírem de forma ativa para a discussão e desenvolvimento das ideias, o que lhes permitiu explorar novas soluções de maneira criativa e eficaz. O trabalho colaborativo entre os diferentes membros foi essencial para o sucesso do protótipo final. O grupo 4 considerou que o trabalho desenvolvido permitiu uma aprendizagem transdisciplinar, com fronteiras esbatidas entre ciências e artes, bem como a promoção de competências sociais:

“Nós aprendemos a trabalhar em grupo, a expandir e ter novas ideias, ter um conhecimento mais amplo pela temática ambiental em estudo.” Saímos das nossas áreas disciplinares “por exemplo os alunos de artes começaram a trabalhar em coisas de ciências e vice-versa”. (RV)

Na dimensão IV b), tendo por base a análise do registo vídeo, verifica-se que grupo 2 considerou que a elaboração de esboços, a criatividade, a reformulação, partilha, aceitação e integração de ideias foram constantes ao longo do processo.

“Nós gostaríamos de começar por falar da satisfação que sentimos quando encaixamos os vários equipamentos eletrônicos e vimos tudo a funcionar de uma forma eficaz. Também vale apenas mencionar que montar o protótipo por fora usando vários materiais desde uma caixa de gelado a musgo como decoração tornou o trabalho ainda mais interessante.”(RV)

Os alunos deste grupo reconheceram o processo inerente à construção de um objeto e a utilidade e necessidade das diferentes áreas do saber para a concretização do mesmo. Experienciaram a não estanquicidade e isolamento das disciplinas, bem como a interdependência clara das mesmas

“ O maior orgulho que temos é vermos agora o resultado final da conjugação que houve entre a Ciência, a Tecnologia e a Arte três coisas aparentemente diferentes ligadas de uma forma inovadora num só objeto.” (RV)

uma perspetiva clara da importância do STEAM. Estes alunos identificaram, ainda, as capacidades mobilizadas na área artística, tecnológica bem como aspetos relacionados com a filosofia e epistemologia da ciência.

“Através deste trabalho desenvolvemos diversas capacidades em diversas áreas não só na parte artística,(...) a construção do protótipo ou na parte tecnológica, em que programamos em blocos mas fomos mais além (...) A filosofia por trás da ciência é linda. É bonita porque é algo que nos ensina como é a vida em si: não ter medo de errar, não ter medo de experimentar.” (RV).

Os alunos consideraram, ainda, que o trabalho desenvolvido foi "fora da caixa" e foi um caminho de criatividade, trabalho em equipa e persistência.

Por outro lado, o grupo 3 apresentou uma nítida separação entre os alunos dos cursos de ciências e de artes, o que resultou numa menor interação e troca de ideias. Este fator limitou o potencial criativo do grupo, que teve dificuldade em integrar as perspetivas diversificadas dos seus membros. Já o grupo 1 e o grupo 5 conseguiram uma colaboração mais eficaz entre as diferentes áreas, o que lhes permitiu integrar soluções inovadoras nos seus protótipos, como o uso de componentes eletrônicos por alunos de artes e a criação artística por alunos de ciências, evidenciando uma complementaridade interessante entre os membros.

Salienta-se o trabalho desenvolvido pelo grupo 4 classificado como excelente em todas as dimensões de evidências criativa.

O Gráfico 4.4 avalia as condições para o desenvolvimento da criatividade (*Flow*), por grupo de trabalho.

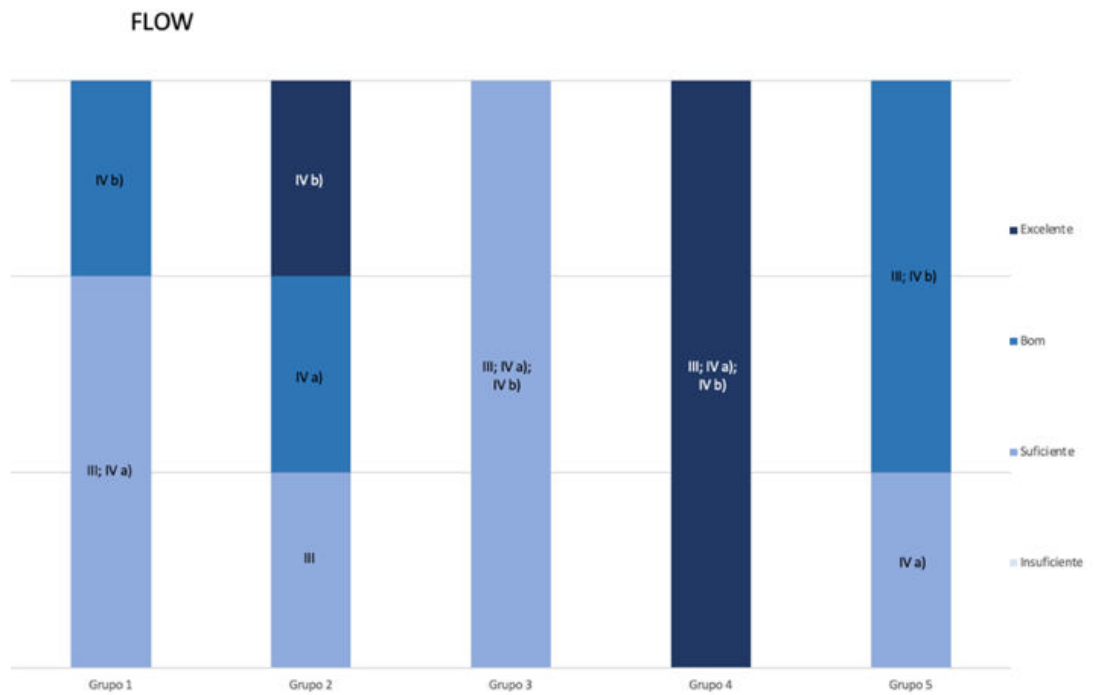


Gráfico 4.4 - Classificação obtida por cada grupo de trabalho nas dimensões III e IV (*Flow*)

Com base na análise destes resultados, constata-se que o grupo 4 teve excelente em todas as dimensões de evidências criativas consideradas, em oposição ao grupo 3 que teve suficiente nessas mesmas dimensões. Nos restantes grupos os resultados foram mais heterogêneos com valores variáveis nas várias dimensões.

---

## 5. Capítulo

---

### Discussão dos resultados e conclusões

Este trabalho pretendeu compreender de que modo uma sequência didática STEAM, sobre a avaliação da qualidade do ar, em termos de concentração de dióxido de carbono, promove o processo de *Design Thinking* e conduz ao desenvolvimento da criatividade. Teve como principais objetivos analisar o desenvolvimento do processo de *Design Thinking* dos alunos quando envolvidos numa sequência didática STEAM e conhecer a criatividade dos alunos e a sua relação com o processo de *Design Thinking*. Através da implementação de diversos instrumentos de recolha de dados foram obtidos resultados para resposta estes objetivos, apresentados anteriormente. O presente capítulo tem como objetivo efetuar e apresentar a discussão dos resultados e conclusões.

#### 5.1. Discussão dos resultados

Com base nos resultados apresentados verifica-se que os diferentes grupos, com a exceção do grupo 3, percorreram todas as etapas do processo de *Design Thinking* e que, independentemente do número de ciclos de *design*, conceberam um protótipo funcional, robusto, transportável e criativo, que permite avaliar se o ar que se respira na escola e nas suas imediações é de boa qualidade em termos da concentração de CO<sub>2</sub>.

Através da análise efetuada, com base nos dados expressos na Figura 4.1, etapas e número de ciclos de *Design Thinking*, percorridas pelos diferentes grupos, verifica-se que o grupo 3 percorreu a maioria das etapas do *Design Thinking*, de modo unidirecional, iniciando na etapa *Problem scoping* (1.PS), *Brainstorming and planning* (2.BP), *Design and construct* (3.DC) culminando na etapa *Design evaluation* (4. DE), sendo este percurso muito contrastante com os dos restantes grupos. O grupo 5 trilhou as primeiras quatro etapas do percurso de modo semelhante ao grupo 3, no entanto, após a etapa *Design evaluation* (4.DE), iniciou um novo ciclo de *design*, com novo *Brainstorming and planning* (5.BP), seguido de nova etapa de *Problem scoping* (6.PS), o que conduziu a *Redesign and improvement* (7.RI).

Os restantes grupos, grupos 1, 2 e 4, tiveram um percurso inicial semelhante entre si, nas primeiras quatro etapas, mas diferente dos grupos anteriores. Iniciaram pela etapa *Problem scoping* (1.PS), seguida de *Brainstorming and planning* (2.BP), *Design evaluation* (3. DE) o que conduziu ao início do segundo ciclo de *design* com nova etapa de *Brainstorming and planning* (4.BP).

Verifica-se, através do exposto que a grande diferença nesta fase inicial do processo de *Design Thinking*, relativamente aos grupos 3 e 5 reside no facto de estes três grupos efetuarem preliminarmente uma avaliação das ideias ao invés de iniciarem a construção do protótipo, o que sugere, ou pode sugerir, ser fundamental do ponto de vista da criatividade.

Constata-se, através da análise dos percursos dos grupos 1, 2 e 4, que independentemente do número de ciclos, os grupos 2 e 4, após o início do segundo ciclo de *design* com a etapa de *Brainstorming and planning* (4.BP) iniciam o processo de prototipagem, etapa *Design and construct* (5.DC) ao contrário do grupo 1, que percorre novamente a etapa de *Problem scoping* (5.PS), antes de percorrer a etapa *Design and construct* (6.DC), sendo que todos estes grupos terminam o segundo ciclo de *design* com a etapa *Design evaluation* (DE).

Por um lado, após o segundo ciclo de *design*, o grupo 1, iniciou nova etapa de *Brainstorming and planning* (8.BP), o que conduziu a uma melhoria do protótipo, etapa de *Redesign and improvement* (9.RI). Por outro lado, o grupo 2 percorreu mais um ciclo de *design*, com mais quatro etapas até chegar a uma melhoria do protótipo, etapa *Redesign and improvement* (11.RI).

Comparando os percursos dos grupos 2 e 4, verifica-se que os dois primeiros ciclos de *design*, assim como o início do terceiro, foram exatamente iguais. O grupo 2 terminou o terceiro ciclo de *design* na etapa *Design evaluation* (DE), enquanto o grupo 4 concluiu com uma melhoria do seu protótipo, na etapa *Redesign and improvement* (RI), etapa esta que o grupo 2 só atingiu no final do quarto ciclo de *design*.

Constata-se, ainda, que a etapa do processo de *Design Thinking* que surge com maior frequência no grupo 4 e nos restantes, com a exceção do grupo 3, é a etapa de *Brainstorming and planning* (BP). Similarmente nos grupos 5, 1 e 2, esta etapa é fruto, principalmente, da etapa *Design evaluation* (DE). Verifica-se que após a primeira avaliação efetuada, primeira vez que o grupo percorreu a etapa *Design evaluation*, da(s) ideia(s) ou do protótipo, surge sempre uma nova etapa de *Brainstorming and planning*, na mesma proporção nestes três grupos, isto é, no caso do grupo 5 na proporção de um para um, no caso do grupo 1, de dois para dois e no caso do grupo 2, de três para três, Figura 5.1.

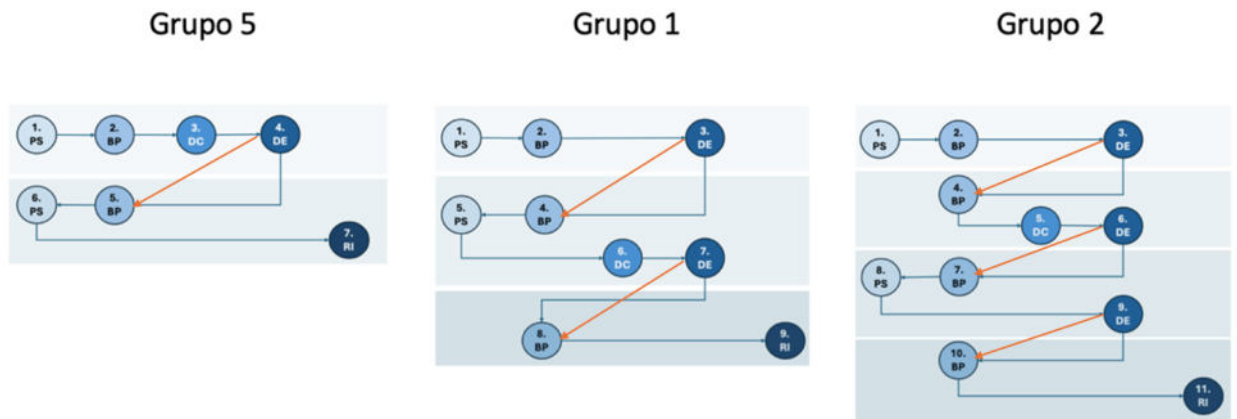


Figura 5.1 - Etapas do *Design Thinking* dos grupos 5, 1 e 2.

De notar, por um lado, que a etapa *Brainstorming and planning* (BP) pode conduzir a qualquer outra, isto é, a qualquer tipo ação seja ela uma nova exploração, uma avaliação ou testagem, à prototipagem ou a uma melhoria. Por outro lado, a etapa do *Design evaluation* (DE), onde se efetua uma avaliação do *design* e dos constrangimentos, conduziu sempre a um novo *Brainstorming and planning*, com a exceção do grupo 3, que terminou o seu percurso de *Design Thinking* nesta etapa. Observa-se, também, que todos os grupos tiveram como primeira etapa *Problem scoping* (1. PS), que foi sempre seguida de *Brainstorming and planning* (2. BP). No entanto, quando a etapa *Problem scoping* surge de novo, já no meio do percurso de *design*, pode seguir-se qualquer uma das outras, no caso do grupo 1 seguiu-se a DC; grupo 2 seguiu-se a DE, grupo 5 seguiu-se a RI. A Figura 5.2 ilustra esquematicamente estas diferentes relações.

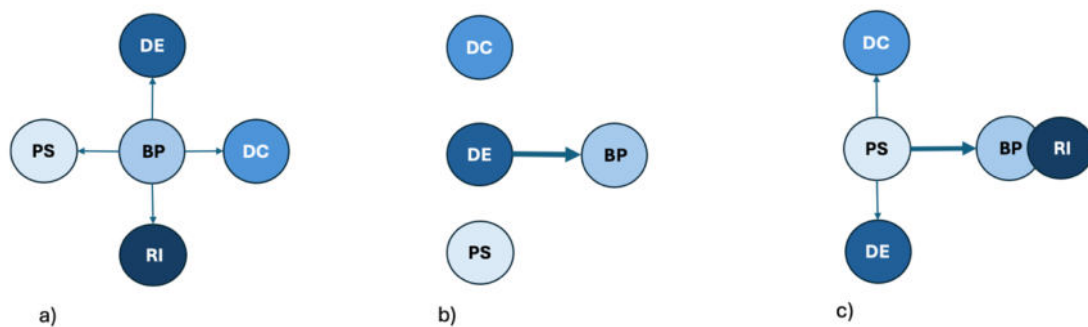


Figura 5.2 – Relação entre as diferentes etapas de *Design Thinking*.

a) Relação da etapa *Brainstorming and planning* com as restantes; b) relação da etapa *Design evaluation* com as restantes; c) relação da etapa *Problem scoping*, quando surge de novo no ciclo de *design*, com as restantes.

Pode ainda observar-se nos diferentes grupos que a etapa *Design and construct* (DC) foi sempre seguida da *Design evaluation* (DE).

Em suma, com esta análise verifica-se que a implementação da sequência didática STEAM permitiu aos alunos explorar a temática em análise, levando-os a pesquisar, discutir ideias, planear, desenvolver, testar, recolher dados, avaliar e melhorar os seus protótipos. Deste modo podemos concluir que estes grupos de alunos, quando sujeitos a uma sequência didática STEAM, desenvolveram o seu processo de *Design Thinking*. Processo este, diferente de grupo para grupo, mas que apelou ao desenvolvimento das competências inerentes ao processo de *Design*. Foi possível ter uma visão abrangente do trabalho desenvolvido por cada grupo de trabalho e ainda mapear o percurso, de cada um dos grupos, durante o projeto.

De acordo com os dados apresentados no Capítulo 4, verificou-se que a maioria dos grupos percorreu todas as etapas do *Design Thinking*, em vários ciclos de *design*, excetuando o grupo 3. Os restantes grupos, por exemplo o 4, repetiram etapas fundamentais, como *Problem scoping* e *Brainstorming and planning*, indicando uma abordagem mais reflexiva e ativa, em consonância com os princípios do *Design Thinking*. Segundo Razzouk e Shute (2012), este processo deve ser cíclico, envolvendo feedback contínuo e redesenho, o que foi visível nos grupos que realizaram múltiplas iterações, como o grupo 4. Estes ciclos são essenciais para promover a criatividade e a inovação, conforme salientado por Li et al. (2019), que descreve o *Design Thinking* como um catalisador para soluções criativas. Também Owen, (2007) considera que a inovação está relacionada com a reflexão e avaliação contínua, remetendo, indiretamente, para a importância de vários ciclos de *design*, o que não se verificou com o grupo 3, que seguiu um percurso linear sem regressar às etapas anteriores o que poderá ter limitado a sua capacidade de inovação.

Esta discussão dos resultados conduz-nos de imediato ao segundo objetivo de investigação, conhecer a criatividade dos alunos e perceber se existe uma relação entre o desenvolvimento criatividade dos alunos e o número de etapas e ciclos de *Design* percorridos. A exploração e discussão dos resultados vai permitir validar ou não esta relação.

Analisando o Gráfico 4.2, página 93, verifica-se que o grupo 4 foi o que teve uma melhor classificação, globalmente excelente, em termos de criatividade em oposição do grupo 3 que teve uma classificação globalmente suficiente em termos da mesma competência.

Com base nos Gráfico 4.4 e Gráfico 4.3, páginas 102 e 98, respetivamente verifica-se ainda que, para os grupos 3 e 4, parece existir uma relação entre o *Flow* (III e IV) e o *Act* (I e II). Por um lado, no grupo 4, os resultados demonstraram que tanto o *Flow* como o *Act* foram avaliados de forma significativamente positiva, o que sugere uma forte inter-relação entre estas

dimensões. A alta avaliação no *Flow* revela que os participantes estiveram intensamente envolvidos nas suas tarefas, experienciando uma imersão total que facilitou o surgimento de novas ideias e soluções criativas. Este ambiente propício à criatividade resultou no mais elevado desenvolvimento da competência, alinhando-se com a literatura que associa o estado de *Flow* ao pensamento divergente e à inovação (Thuneberg et al., 2018). A fusão de ideias inovadoras e a geração de múltiplas soluções foram características dominantes neste grupo, permitindo a criação de respostas altamente criativas e inovadoras. Tendo por base estes resultados podemos colocar a hipótese que as condições excelentes para o desenvolvimento da criatividade (*Flow*) podem favorecer o desenvolvimento desta competência (*Act*). Por outro lado, no grupo 3, verificou-se a pior avaliação tanto no *Flow* como no *Act*. A ausência de condições favoráveis a um envolvimento profundo nas tarefas parece ter potenciado negativamente o desenvolvimento da competência criativa. A falta de imersão no problema parece ter impossibilitado que os participantes conseguissem gerar novas ideias ou adaptar soluções pré-existentes de maneira criativa e eficaz. Estes resultados, para este grupo, sugerem, apesar de não poderem ser generalizados, que um ambiente apenas suficiente para a promoção da criatividade pode estar diretamente relacionado com o baixo desenvolvimento desta competência, o que confirma a importância de um ambiente que fomente não só a concentração e o envolvimento, mas também a exploração criativa.

Nos restantes grupos, os resultados foram mais heterogêneos, com valores variáveis em ambas as dimensões, sem que se possa estabelecer uma relação clara e consistente entre o estado de *Flow* e o desenvolvimento do *Act*. Esta variabilidade indica que, embora o ambiente e as condições possam ser facilitadores importante da criatividade, a sua relação com o desenvolvimento da competência criativa pode depender de outros fatores contextuais ou individuais. Fatores como a natureza das tarefas, o grau de desafio, a motivação intrínseca ou mesmo as diferenças individuais entre os grupos de alunos participantes podem ter influenciado a disparidade nos resultados. Assim, os resultados parecem sugerir que, o *Flow* desempenha um papel crucial no desenvolvimento da competência criativa, como verificado no grupo 4, a sua ausência, como visto no grupo 3, pode limitar o progresso nessa área. Contudo, a relação entre *Flow* e *Act* não é linear nem garantida, como demonstram os resultados variáveis dos restantes grupos.

Yakman (2008) sugere que a natureza interdisciplinar do STEAM incentiva os alunos a abordar problemas a partir de múltiplas perspetivas, promovendo o pensamento divergente e a procura de soluções originais, fomentando assim a criatividade. Nos projetos STEAM os alunos são desafiados a estimular a sua imaginação e mobilizar capacidades de pensamento crítico aplicados a problemas reais, potenciado assim a criatividade, como evidenciado pelos resultados.

No contexto da Educação STEAM, os grupos que realizaram vários ciclos de *design* mostraram maior sucesso na criação de protótipos funcionais e inovadores. Este processo, que promove a iteração e reflexão, é essencial para a criatividade e corresponde ao modelo de pensamento criativo apresentado pelo PISA (OECD, 2024). Especificamente, a capacidade de gerar ideias diferentes e criativas, bem como de avaliar e melhorar soluções, encaixa-se perfeitamente nos vários ciclos de *design*, onde os grupos de alunos voltam às etapas anteriores para melhorar os seus protótipos. Esta abordagem está relacionada com o defendido por Owen, (2007), quando sugere que a repetição das etapas de avaliação e *redesign* promove uma maior exploração de soluções criativas. Também Yakman (2008) refere que ao incorporar processos criativos e o *Design Thinking*, os projetos STEAM proporcionam aos alunos oportunidades de explorar, experimentar e expressar as suas ideias de diversas formas, potenciando as suas capacidades criativas.

No grupo 4, que teve a melhor avaliação em termos criativos, a abordagem reflexiva e iterativa ao longo do processo de *Design Thinking* parece ter permitido a exploração contínua de ideias criativas e a sua melhoria. Este grupo exemplificou a capacidade de criar múltiplas ideias, seguir abordagens criativas e avaliar criticamente as soluções, características alinhadas com os três aspetos do pensamento criativo (OECD, 2024). O elevado nível no ambiente promotor da criatividade, experienciado pelos alunos, parece ter sido catalisador para um envolvimento profundo, permitindo que, através da repetição dos ciclos de *design*, desenvolvessem protótipos mais criativos. Em contraste, o grupo 3, que seguiu uma abordagem linear, sem repetir etapas, num único ciclo de *design*, obteve as piores avaliações ao nível da criatividade. Esta linearidade pode ter limitado a capacidade dos alunos em avaliar e melhorar as suas ideias, resultando num protótipo menos criativo. O ambiente potenciador da criatividade, suficiente neste grupo, tal como referido anteriormente, reflete a falta de imersão e envolvimento nas tarefas, o que comprometeu tanto a criatividade como a capacidade de desenvolver soluções inovadoras, conforme defendido por autores como Owen (2007) e Razzouk et al. (2012). Nos restantes grupos, cujos resultados foram mais variados, o desenvolvimento de pensamento criativo e do *Design Thinking* não se traduziu em diferenças significativas nos variados protótipos. No entanto, grupos que seguiram uma abordagem iterativa, com múltiplos ciclos de *design*, conseguiram explorar e melhorar soluções de forma mais eficaz, demonstrando uma correlação positiva entre o número de ciclos de *design* e a criatividade no desenvolvimento dos protótipos. Esta abordagem reflete a importância de um processo contínuo de reflexão e melhoria, como sugerido no modelo PISA e nos modelos do *Design Thinking*, aplicadas na Educação STEAM. Deste modo, verifica-se que o *Design Thinking* pode constituir-se como uma ferramenta poderosa para fomentar a criatividade e a inovação, especialmente quando associado a contextos de ensino STEAM, uma vez que

promove uma abordagem reflexiva e colaborativa para a resolução de problemas, através da integração de processos criativos e analíticos (Li et al., 2019; Simarro & Couso, 2021). Em contraste com o pensamento científico, que se foca na análise de factos e padrões naturais, o *Design Thinking* promove a criação de novos padrões e soluções, sendo complementares na inovação (Owen, 2007). Já Pleasants & Olson (2019) e English e King (2015) salientam que o *Design Thinking* estimula o desenvolvimento de competências como pensamento crítico, criatividade e resolução de problemas, proporcionando aos alunos a oportunidade de aplicarem conhecimentos científicos em desafios reais, promovendo uma experiência prática que se alinha com as exigências do mundo profissional. Hathcock et al. (2015) acrescentam ainda que atividades baseadas no *design* podem promover a tradução de ideias criativas “*mini C*” em produtos criativos “*Little C*” que envolvem experiências criativas do dia-a-dia, tais como momentos “aha” de descoberta ou encontrar formas melhoradas de realizar tarefas num contexto específico, como o que se verificou, por exemplo com o grupo 4. Simarro & Couso (2021) afirmam também que as características iterativas e colaborativas refletem as práticas do mundo real mas também preparam os alunos para carreiras futuras.

A análise deste conjunto de dados sugere assim que, quer o ambiente potenciador da criatividade (*Flow* – dimensões III e IV) quer a existência de vários ciclos de *Design Thinking* são fundamentais para o desenvolvimento da criatividade global em contexto educativo. Grupos que demonstraram maior capacidade de gerar, avaliar e melhorar ideias foram também aqueles que conseguiram manter um ambiente potenciador da criatividade mais elevado, o que se refletiu no sucesso do seu trabalho e no desenvolvimento da competência criativa.

## 5.2. Conclusão

A Educação STEAM, tal como proposta por Yakman et al. (2012), defende a integração de diversas disciplinas para a resolução de problemas reais. O processo de *Design Thinking* pode constituir-se como uma ferramenta eficaz no contexto da Educação STEAM uma vez que, em contextos educativos, está intimamente unido ao desenvolvimento da criatividade, pois incentiva o envolvimento dos alunos em processos inovadores que apelam à experimentação, prototipagem e redesenho iterativo, essenciais para o desenvolvimento de soluções criativas para problemas complexos (Li et al., 2019). Além disso, a integração do *Design Thinking* nas práticas educativas contribui fortemente para a motivação e a confiança dos alunos (Thuneberg et al., 2018). Esta abordagem enfatiza a importância de experiências práticas de aprendizagem centradas no aluno

que estimulam a criatividade e as ligações interdisciplinares, preparando, em última análise, os alunos para as exigências do século XXI (Thibaut et al., 2018; Thuneberg et al., 2018).

Estes princípios foram evidentes no trabalho desenvolvido pelos alunos, uma vez que o conhecimento foi aplicado de forma transdisciplinar para melhorar continuamente protótipos. O processo de repetição de etapas, a constante problematização e avaliação são cruciais para o desenvolvimento de pensamento crítico e criativo, conforme enfatizado por Zeidler (2016), e foi observado nos grupos que demonstraram maior criatividade. Os resultados também indicam uma relação clara entre o número de ciclos de *design* percorridos e a criatividade desenvolvida. English (2015) destaca que o *design* promove não só a colaboração, mas também a aplicação prática do conhecimento, permitindo uma integração mais equilibrada das disciplinas STEAM. A análise dos dados confirma esta relação, já que os grupos com mais iterações apresentaram soluções mais inovadoras e criativas.

Resumindo, os resultados deste estudo estão claramente alinhados com a potencialidade do *Design Thinking* na Educação STEAM, como forma de promover a criatividade. Os grupos que adotaram uma abordagem iterativa e cíclica demonstraram uma maior capacidade de inovação, criatividade e eficácia na criação dos seus protótipos. Esta abordagem é consistente com os princípios teóricos que defendem a integração do *design* como uma prática central no ensino STEAM, promovendo a aplicação prática dos conhecimentos e incentivando a inovação e a criatividade ao longo de todo o processo de aprendizagem.

O presente estudo contribuiu de forma significativa para a compreensão da importância da Educação STEAM, através do *Design Thinking*, no desenvolvimento da criatividade dos alunos. Ao analisar como uma sequência didática STEAM, centrada na avaliação da qualidade do ar, pode fomentar processos criativos, foi possível demonstrar que a repetição de ciclos de *Design Thinking* permite uma maior exploração de ideias e a criação de protótipos mais inovadores. Esta investigação destaca, assim, a relevância da reflexão contínua e da iteração no processo de *design* como motores do pensamento criativo, sublinhando a importância de um ambiente educacional que promova o envolvimento profundo dos alunos nas suas tarefas.

Relativamente à prática profissional, os resultados sugerem que o uso de estratégias baseadas no *Design Thinking* em contexto de sala de aula pode ter um impacto positivo no desenvolvimento de competências criativas e de resolução de problemas. Professores que integram estas abordagens nas suas práticas pedagógicas podem promover um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e colaborativo, onde os alunos são incentivados a iterar, testar e melhorar continuamente as suas soluções. Assim, a implementação de atividades STEAM que recorram a vários ciclos de *Design Thinking* revela-se uma ferramenta eficaz para não só aumentar

a criatividade, mas também para desenvolver o pensamento crítico e a capacidade de resolução de problemas dos alunos.

Adicionalmente, o estudo identificou uma relação clara entre o número de ciclos de *Design Thinking* percorridos pelos alunos e o nível de criatividade atingido. Grupos que passaram por múltiplas iterações foram capazes de criar protótipos mais inovadores, enquanto aqueles que seguiram um percurso linear demonstraram menor capacidade criativa. Tal sugere que a promoção de um ambiente iterativo, onde os alunos possam reavaliar e melhorar continuamente as suas ideias, é crucial para a inovação no contexto educativo.

Para investigações futuras, seria interessante repetir este estudo, utilizando sequências didáticas STEAM, com uma amostra representativa de modo a tentar garantir a fiabilidade e validade dos resultados, permitindo a sua eventual generalização.

Também seria relevante investigar a influência de fatores individuais, como a motivação intrínseca e o desafio proposto pelas tarefas, na relação entre ciclos de *design* e o desenvolvimento da criatividade. Por fim, sugere-se a realização de estudos que analisem de forma mais profunda o papel do estado de *Flow* no *Act* criativo, e que sejam explorados a forma como diferentes abordagens pedagógicas podem favorecer um ambiente mais propício à inovação.

Em suma, os resultados desta investigação sugerem o potencial do *Design Thinking* na promoção da criatividade em contextos educativos STEAM, oferecendo tanto à investigação como à prática pedagógica *insights* valiosos sobre a implementação de metodologias que potenciam a inovação e a exploração criativa dos alunos.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, D. E., Donham, R. S., & Bernhardt, S. A. (2011). Problem-based learning. *New Directions for Teaching and Learning*, 128, 21–29. Consultado em março de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1002/tl.465>
- Amado, J. (2014). Manual de Investigação Qualitativa em Educação (2ª Ed.). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Angrosino, M. (2007). *Doing ethnographic and observational research*. EUA: Sage Publications
- Auler, D. et al. (2001). Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto Educacional Brasileiro. *Ciência & Educação*, (Vol.7, n.1, p.1-13)
- Baptista M. (2023). Educação STEM em Portugal: Iniciativas e desafios para o futuro. *Instituto de Educação\_PolicyBrief*.
- Barros, C., Silva, G., & Barros, S. (2021). Educação Integrada STEAM: A Subjetividade das Artes como Aliada nos Processos de Inovação do Século XXI. *Humanidades e inovação*, 8(50) Consultado em abril de 2024. Disponível em <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/3631>
- Bogdan, Robert., & Biklen, S. Knopp. (1998). *Qualitative research for education :an introduction to theory and methods*. EUA:Allyn and Bacon.
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What Is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM in Education and Partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3–11. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Bryman, Alan. (2016). *Social research methods*. Oxford University Press.
- Bybee, R. W. (2013). *Challenges and Opportunities The Case for Education*. Consultado em novembro de 2023. Disponível em [www.nsta.org/permissions](http://www.nsta.org/permissions).
- Christopoulos, A., Pažeraite, A., Chytas, C., Tenberge, C., & Timotijevic, D. (2023). *A practical handbook on effective development and implementation of STEAM teaching at school*. Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://web.htk.tlu.ee/STEAM/handbook/chapter/steam-integration-of-disciplines/>

- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. (5th ed.). Reino Unido: Routledge.
- Creswell, J. W., & Poth, C. . N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. (4th ed.). EUA: Sage publications.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2011). *The Sage handbook of qualitative research*. (4th ed.). EUA: Sage Publications.
- Direção Geral da Educação. (2018). *Aprendizagens Essenciais | Articulação com o Perfil dos Alunos 12.º ano | Secundário | Aplicações Informáticas B*. Consultado em outubro de 2023. Disponível em <https://www.dge.mec.pt/aprendizagens-essenciais-ensino-secundario>
- Direção Geral da Educação. (2018). *Aprendizagens Essenciais | Articulação com o Perfil dos Alunos 12.º ano | Secundário | Oficina de Artes*. Consultado em outubro de 2023. Disponível em <https://www.dge.mec.pt/aprendizagens-essenciais-ensino-secundario>
- Direção Geral da Educação (DGE). (2017). *Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória*. Consultado em outubro de 2023. Disponível em [https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto\\_Autonomia\\_e\\_Flexibilidade/erfil\\_dos\\_alunos.pdf](https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/erfil_dos_alunos.pdf)
- Direção-Geral da Educação. (2018). *Aprendizagens Essenciais | Articulação com o Perfil dos Alunos 12.º ano | Secundário | Geologia*. Consultado em outubro de 2023. Disponível em <https://www.dge.mec.pt/aprendizagens-essenciais-ensino-secundario>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. In *International Journal of STEM Education* (Vol. 3, Issue 1). Springer. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- English, L. D. (2019). Learning while designing in a fourth-grade integrated STEM problem. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(5), 1011–1032. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9482-z>
- English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(1). Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
- Evans, M. A., Lopez, M., Maddox, D., Drape, T., & Duke, R. (2014). Interest-driven learning among middle school youth in an out-of-school STEM studio. *Journal of Science Education and Technology*, 23(5), 624–640. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9490-z>

- Filipe, J., Baptista, M., & Conceição, T. (2024). Integrated STEAM Education for Students' Creativity Development. *Education Sciences*, 14(6). Consultado em julho de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.3390/educsci14060676>
- Fulton, K., & Britton WestEd, T. (2011). *STEM Teachers in Professional Learning Communities: From Good Teachers to Great Teaching*. Consultado em novembro de 2023. Disponível em [www.nctaf.org](http://www.nctaf.org)
- Hallström, J., & Ankiewicz, P. (2023). Design as the basis for integrated STEM education: A philosophical framework. *Frontiers in Education*. (Vol.8). Consultado em fevereiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1078313>
- Hathcock, S. J., Dickerson, D. L., Eckhoff, A., & Katsioloudis, P. (2015). Scaffolding for Creative Product Possibilities in a Design-Based STEM Activity. *Research in Science Education*, 45(5), 727–748. Consultado em fevereiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9437-7>
- Honey, M. A., Pearson, G., & Schweingruber, H. (2014). STEM integration in K-12 education: status, prospects, and an agenda for research. In *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. National Academies Press. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.17226/18612>
- ICSE Science Factory. (2024). ICSE Science Factory – Portugal. Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://icsesf.ie.ulisboa.pt/>
- Jamali, S. M., Ale Ebrahim, N., & Jamali, F. (2023). The role of STEM Education in improving the quality of education: a bibliometric study. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(3), 819–840. Consultado em fevereiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09762-1>
- John W. Creswell; J. David Creswell. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (Fifth Edition).
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. In *International Journal of STEM Education* (Vol. 3, Issue 1). Springer. Consultado em dezembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kelley, T. R., Knowles, J. G., Han, J., & Trice, A. N. (2021). Integrated STEM Models of Implementation. *Journal of STEAM Education*, (Vol. 22, Issue 1).

- Lage-Gómez, C., & Ros, G. (2024). On the interrelationships between diverse creativities in primary education STEAM projects. *Thinking Skills and Creativity*, 51. Consultado em agosto de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101456>
- Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. In *Journal for STEM Education Research* (Vol. 2, Issue 2, pp. 93–104). Springer Nature. Consultado em fevereiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s41979-019-00020-z>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., & Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. In *Science Education* (Vol. 103, Issue 4, pp. 799–822). Wiley-Liss Inc. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- McComas, W. F., & Burgin, S. R. (2020). A Critique of “STEM” Education: Revolution-in-the-Making, Passing Fad, or Instructional Imperative? *Science and Education*, 29(4), 805–829. Consultado em dezembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00138-2>
- Millar, V. (2020). Trends, Issues and Possibilities for an Interdisciplinary STEM Curriculum. *Science and Education*, 29(4), 929–948. Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00144-4>
- Morrell, P. D., & Carroll, J. B. (2010). *Conducting educational research: A primer for teachers and administrators* (Vol. 1). Rotterdam: Sense Publishers. Consultado em julho de 2024. Disponível em <https://pt.scribd.com/document/460735973/conducting-educational-research#>
- National Academy Press. (2007). *Rising above the gathering storm: Energizing and employing America for a brighter economic future*. In *Rising Above the Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future*. National Academies Press. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.17226/11463>
- OCDE. (2022). *Trends Shaping Education 2022*. OECD. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1787/6ae8771a-en>
- OECD. (2024). *PISA 2022 Results (Volume III): Creative Minds, Creative Schools*, PISA, OECD Publishing, Paris. Consultado em setembro de 2024. Disponível em <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/765ee8c2-en>

- Owen, C. (2007). *Design Thinking: Notes on its Nature and Use*. Consultado em novembro de 2023. Disponível em [www.designresearchsociety.org](http://www.designresearchsociety.org)
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice*. (4th ed.). EUA: Sage Publications.
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43. Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Pleasant, J., & Olson, J. K. (2019). What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education. *Science Education*, 103(1), 145–166. Consultado em fevereiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1002/sce.21483>
- Pugliese, G. O. (2020). STEM education – Um panorama e sua relação com a educação brasileira. *Curriculo Sem Fronteiras*, 20(1), 209–232. Consultado em abril de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.35786/1645-1384.v20.n1.12>
- Quinn, C. M., Reid, J. W., & Gardner, G. E. (2020). S + T + M = E as a Convergent Model for the Nature of STEM. *Science and Education*, 29(4), 881–898. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00130-w>
- Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What Is Design Thinking and Why Is It Important? *Review of Educational Research*, 82(3), 330–348. Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.3102/0034654312457429>
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20–27.
- Sanders, M. E., (2012). Integrative STEM Education as best practice. In H. Middleton (Ed.), *Explorations of Best Practice in Technology, Design, & Engineering Education*. Vol.2 (pp.103-117). Griffith Institute for Educational Research.
- Sanz-Camarero, R., Ortiz-Revilla, J., & Greca, I. M. (2023). The Impact of Integrated STEAM Education on Arts Education: A Systematic Review. In *Education Sciences* (Vol. 13, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.3390/educsci13111139>
- Simarro, C., & Couso, D. (2021). Engineering practices as a framework for STEM education: a proposal based on epistemic nuances. *International Journal of STEM Education*, 8(1).

- Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00310-2>
- Stretch, E. J., & Roehrig, G. H. (2021). Framing Failure: Leveraging Uncertainty to Launch Creativity in STEM Education. *International Journal of Learning and Teaching*, 123–133. Consultado em abril de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.18178/ijlt.7.2.123-133>
- The XXX General Assembly Workbook*. (2021).
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaeppe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, 3(1). Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- Thuneberg, H. M., Salmi, H. S., & Bogner, F. X. (2018). How creativity, autonomy and visual reasoning contribute to cognitive learning in a STEAM hands-on inquiry-based math module. *Thinking Skills and Creativity*, 29, 153–160. Consultado em fevereiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.07.003>
- Waidelich, L., Richter, A., Kolmel, B., & Bulander, R. (2018, August 13). Design Thinking Process Model Review. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings*. Consultado em fevereiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436281>
- Wolniak, R. (2017). The Design Thinking Method and Its Stages. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji. Inżynieria Systemów Technicznych*, 6, 247-255.
- Yakman, G. (2008). *STEAM Education: an overview of creating a model of integrative education*. NAE. Consultado em novembro de 2023. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/327351326>
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the Exemplary STEAM Education in the U.S. as a Practical Educational Framework for Korea. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 32(6), 1072–1086. Consultado em janeiro de 2024. Disponível em <https://doi.org/10.14697/jkase.2012.32.6.1072>
- Zeidler, D. L. (2016). STEM education: A deficit framework for the twenty first century? A sociocultural socioscientific response. *Cultural Studies of Science Education*, 11(1), 11–26. Consultado em janeiro 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11422-014-9578-z>



# **Anexo III**

# Planificação das aulas SABER +

## 1ª e 2ª aulas

15 de março 2024

*Nota Prévia:*

- *Foram colocados na plataforma classroom da turma os dois questionários: Motivação e Carreiras sobre o papel da Arte e da Ciência. Os alunos de Artes foram convidados a responder ao de Artes; os de Ciências foram convidados a responder ao de Ciências. O inquérito foi disponibilizado no início da semana, por forma a ser respondido ao longo da mesma e não retirar tempo de aula que será necessário.*
- *Os grupos de trabalhos foram previamente criados, segundo as afinidades e escolhas dos alunos. A única condição obrigatória foi a existência de grupos híbridos. Devido a problemas de material só foram criados 5 grupos de 6 elementos cada, uma desvantagem, à partida, para uma eficaz rentabilização do processo de aprendizagem. 2 desses grupos tinham 3 alunos de artes e 3 de ciências e 3 desses grupos tinham 4 alunos de artes e 2 de ciências.*
- *A sala já deve estar disposta em 5 grupos de 6.*

**Estrutura da Aula** - dinamizada, maioritariamente, pelo professor de Geologia

- Introdução e enquadramento do projeto ([ver PPT](#))

### **Tema: Sustentabilidade e Digitalização – Introdução**

Esta sequência didática pretende promover o desenvolvimento de competências tecnológicas e de digitalização no âmbito das alterações climáticas, levando os alunos a indagar sobre o impacto das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na saúde e nos ecossistemas. Os níveis elevados de CO<sub>2</sub> atmosférico e de outros gases com efeito de estufa contribuem para alterações nos padrões climáticos globais. Como consequência disto: Ainda semana passada, nas notícias foi referido que, segundo o serviço de alterações climáticas Copernicus, em termos globais, foi o fevereiro mais quente desde que há registos: 0,81°C acima da média de fevereiro entre 1991 e 2020; relativamente à média estimada para o período de referência pré-industrial (1850-1900) mais 1,77°C. E já tinha acontecido o mesmo com o mês de janeiro. Estas alterações perturbam os ecossistemas, afetando as espécies vegetais e animais, os seus *habitats* e a disponibilidade de recursos. Para além de comprometer a qualidade do ar atmosférico, o aumento do CO<sub>2</sub> também

tem efeitos adversos na saúde humana em ambientes fechados. Levar os alunos a refletirem sobre estes efeitos

Este é um aspeto fundamental para a autenticidade e necessidade deste projeto.

É fundamental estabelecer uma ligação entre os desafios globais do CO<sub>2</sub> e os riscos locais, especialmente em ambientes fechados, sendo crucial para promover a consciencialização e a procura de soluções que melhorem a qualidade do ar.

Neste sentido apresentar o projeto referindo, por exemplo, que: o uso de novas tecnologias como o Micro:bits e sensores de CO<sub>2</sub> vão permitir a medição da concentração de CO<sub>2</sub> no ar atmosférico, em vários locais, e criar um protótipo de um sensor de CO<sub>2</sub> portátil, robusto e apelativo (criativo). Esta proposta didática de investigação vai permitir o desenvolvimento da criatividade e o *design* através da construção de um protótipo robusto, portátil e apelativo.

Apresentar, de seguida, o problema de partida:

Como podemos saber se o ar que respiramos na escola e nas suas imediações é de boa qualidade em termos de concentração de CO<sub>2</sub>?

Explicitar como vai ser desenvolvido o projeto indicando as várias etapas, através da apresentação do [padlet com o projeto que vamos desenvolver](#) - juntamente com a [capa do trabalho](#) e folhas soltas. Salientar e reforçar a importância do registo sistemático, em papel vídeo, áudio ou outro suporte, das diferentes ideias, dos pensamentos, das diferentes propostas, das reformulações eventualmente necessárias. Devem arquivar estes registos na capa do trabalho e ir preenchendo o esquema.

## **Etapa 1 - Pesquisar e imergir na temática em análise através da exploração das causas e consequências do aumento CO<sub>2</sub> e os limiares de concentração no ar interior.**

**Finalidade:** Sensibilizar para a importância de conhecer a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, perceber as causas e as consequências do seu aumento para a saúde humana. Incentivar os alunos a investigar um problema real, ligado à sustentabilidade.

**Materiais:**

Computadores ou *laptops* com acesso à internet, padlet de apoio; Projetor datashow; Quadro da sala de aula

## Descrição:

Iniciar uma pesquisa, reflexão e discussão sobre as alterações climáticas, incluindo os seguintes tópicos:

- As causas e consequências do aumento da concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera durante os últimos 100 anos.
- Identificar as consequências do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na saúde humana.
- Conhecer os valores-limite para a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico no espaço interior.
- Esclarecer que a unidade usada para medir a concentração de CO<sub>2</sub> é uma medida de concentração chamada "partes por milhão" (ppm).

Estas questões encontram-se no Padlet partilhado: [Alterações climáticas e concentração de dióxido de carbono atmosférico](#). Os alunos devem expor as principais ideias no referido padlet. Devem iniciar a resposta com a identificação do grupo a que pertencem.

Posteriormente, devem criar um cartaz digital, criativo, original e impactante, utilizando o canva, padlet, ou outro programa, com as principais conclusões e ideias resultantes da informação recolhida.

Depois, devem colocar o link ou o próprio cartaz no padlet partilhado intitulado: “Problema de partida: como podemos saber se o ar que respiramos na escola ou nas suas imediações é de boa qualidade em termos de concentração de CO<sub>2</sub>? “. Para tal devem clicar no + que se encontra por baixo do título “1. Pesquisar e efetuar o enquadramento teórico sobre o tema”.

Devem chegar a valores semelhantes a estes:

Valores	Descrição	
inferior 400 ppm	Esta é a concentração de referência para o ar exterior, e um valor indicativo de uma boa qualidade de ar.	
400-1000 ppm	Valores dentro deste intervalo são considerados aceitáveis para o ar interior. No entanto à medida que a concentração de CO <sub>2</sub> se aproxima do limiar superior, poderá ser indicativo que é necessário melhorar a ventilação.	
superior 1000 ppm	Valores superiores a 1000 ppm podem ser indicativos de uma ventilação inadequada. Estes valores podem levar a situações de desconforto, reduzir os níveis de concentração e até provocar tonturas.	

**Instrumentos de avaliação:** Observação e registo; padlet partilhado e cartaz síntese

## 3ª e 4ª aulas

22 de março 2024

*Nota prévia 1:*

- *Iniciar com a apresentação do Padlet elaborado na semana anterior resumindo as principais informações recolhidas; Salientar os aspetos mais importantes, nomeadamente os valores de referências e as unidades (ppm).*
- *Apresentar o padlet com a planificação das tarefas para a aula;*
- *Enfatizar a importância da responsabilidade pelo material do grupo que é caro (relembrar a importância do caderno).*

**Estrutura da Aula - dinamizada, maioritariamente, pelos professores de Aplicações informáticas e de Oficina de Artes**

## Etapa 2 - Configurar e programar de sensores de CO<sub>2</sub>

*Nota prévia 2:*

- *Ao distribuir cada caixa, o grupo fica responsável pelas peças que lá se encontram. Entregar a cada grupo o conteúdo de cada uma das caixas.*

**Finalidade:** Abordar conceitos básicos de programação e utilização da tecnologia (micro:bit) como ferramenta para monitorizar os níveis de CO<sub>2</sub> e a visualização de dados.

### **Materiais:**

Kits de placas Micro:bit (com bateria e cabo USB conector) - um para cada grupo de 6 alunos; Base Shield Keyestudio; Sensor CO<sub>2</sub>; Grove ; Sensor de Gás VOC e CO<sub>2</sub> (SGP30) - 1 para cada micro:bit; Computador com portas USB e software de programação micro:bit (por exemplo, VittaScience e MakeCode); Keyestudio Digital Buzzer Module (produção de som); Keyestudio Traffic Light Module (semáforo); Oito cabos com pinos fêmea para cada grupo; Cabos para

módulos Grove (JST 2.0mm - Jumper 4 pinos fêmea) – 1 para cada sensor; LCD 16x2 (opcional); I2C Hub Grove (opcional); Pilhas; Guiões de apoio à programação

### **Descrição:**

Iniciar esta etapa por discutir a importância da tecnologia para monitorizar os níveis de CO<sub>2</sub> para a qualidade do ar interior.

Apresentar os materiais que serão utilizados e incentivar os alunos a conectar os componentes e o sensor de CO<sub>2</sub> ao micro:bit usando a keyestudio sensor Shield e os fios de jumper. Discutir a importância das conexões adequadas.

Os alunos devem aprender a conectar um sensor de CO<sub>2</sub> a um micro:bit e programá-lo para exibir leituras de CO<sub>2</sub> com indicadores visuais de luz e som. Os alunos terão à disposição guiões para fazer as ligações e a programação.

Introduzir os alunos na programação micro:bit usando o MakeCode; (também é possível programar este sensor com VittaScience, no entanto, para programar com o shield indicado foi utilizado o MakeCode). Os professores durante a aula devem apoiar e verificar se a programação dos componentes foi efetuada.

Se ainda houver tempo, os alunos devem iniciar a elaboração da planificação da proposta de protótipo. Devem registar todo o processo.

### **Evidência do trabalho realizado:**

No final os alunos devem submeter um vídeo do trabalho realizado, no padlet partilhado, mostrando cada uma das programações efetuadas, com os módulos em funcionamento (bem com o código utilizado).

**Instrumentos de avaliação:** Observação e registo – foto/vídeo reportagem;

## 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> aulas e 7<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> aulas

5 de abril 2024 e 10 de abril 2024

### Etapa 3 – Planear, desenvolver e criar um protótipo para medir a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico

**Finalidade:** Planificar e criar um protótipo de uma estrutura portátil, para o sensor de CO<sub>2</sub> e micro:bit, que seja transportável, robusta, criativa que permita a visualização de dados.

#### **Materiais:**

Sensor de CO<sub>2</sub> ; Materiais de construção variados (papelão, placa de espuma, plástico, cola, fita, tesoura, etc.); Material de decoração (marcadores, papel colorido, autocolantes, etc.); Ferramentas de medição (réguas, fitas métricas, etc.)

#### **Descrição:**

Ao iniciar esta aula, voltar clarificar e discutir os objetivos e requisitos do protótipo (uma sugestão é planear a construção de uma estrutura portátil para o sensor de CO<sub>2</sub> e micro:bit. )

A estrutura deve proteger o sensor, torná-lo facilmente transportável, robusto, apelativo e permitir a visualização de dados. Incentivar a criatividade no design e no trabalho em equipa (por exemplo, cada membro da equipa pode ter um papel específico, nomeadamente, designer, construtor, decorador). Cada grupo deve planear o seu protótipo para servir de estrutura do sensor de CO<sub>2</sub>. Cada grupo deve criar um plano detalhado com medições e uma lista de materiais a utilizar. Com base nos materiais e ferramentas seleccionados cada grupo deve construir os seus protótipos com base no planeamento.

Incentivar a colaboração e a resolução de problemas à medida que se deparam com desafios durante a construção. Depois da estrutura do protótipo estar completa, os alunos poderão decorá-la e personalizá-la de modo criativo.

**Evidência do trabalho realizado:**

No final os alunos devem submeter um vídeo do trabalho realizado, no padlet partilhado, mostrando cada uma das etapas: planificação, criação, testagem e avaliação.

Devem submeter também a planificação do protótipo, isto é o plano de trabalho detalhado elaborado, através de fotos dos documentos de planificação.

**Instrumentos de avaliação:** Observação e registo – foto/vídeo reportagem; vídeos submetidos e planificação.

## Durante a semana, até 12 de abril 2024

### Etapa 4 – Testar, recolher dados e avaliar o protótipo concebido

**Finalidade:** Testar o protótipo concebido, através da recolha de dados, e avaliar a sua funcionalidade e adequação face à finalidade a que se destina.

**Descrição:**

Durante a semana os alunos devem avaliar o protótipo quanto à sua funcionalidade e adequação face à finalidade a que se destina.

Os alunos podem ainda planear uma saída para efetuar a medição dos níveis de dióxido de carbono, incluindo uma variedade de espaços interiores e exteriores com características diferentes (por exemplo, salas de aula, ginásio, cafeteria, jardim, estacionamento, ...) podem criar e conceber um documento para registo de dados.

Em cada local os alunos devem usar o protótipo para medir e registar os níveis de CO<sub>2</sub>

Registar informações sobre o ambiente do local de medição, como ocupação, ventilação e atividades em curso. Os alunos podem utilizar uma folha de dados previamente criada ou criar a sua própria folha de dados e registar em papel e em vídeo o processo de recolha de dados.

**Instrumentos de avaliação:** Observação e registo – foto/vídeo reportagem; vídeos submetidos e planificação.

## 9<sup>a</sup> e 10<sup>a</sup> aulas e 11<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> aulas

12 de abril 2024 e 17 de abril de 2024

### Etapa 5 – Melhorar o protótipo. Analisar, refletir e comunicar

**Finalidade:** Introduzir eventuais melhorias no protótipo. Responder ao problema inicial, num exercício de metacognição, analisar, refletir e comunicar sobre o processo de aprendizagem efetuado

**Descrição:**

Os alunos podem introduzir eventuais melhorias no protótipo, fruto da avaliação efetuada.

No final, os alunos são convidados a planear e realizar uma reportagem em vídeo, máximo 4 minutos, num exercício metacognitivo de análise, reflexão e comunicação, para responder ao problema inicial: Como podemos saber se o ar que respiramos na escola e nas suas imediações é de boa qualidade em termos de concentração de CO<sub>2</sub>?

O vídeo deve ser divulgado numa plataforma digital (youtube, vimeo, por exemplo...) e o LINK do mesmo colocado no Padlet comum até ao dia 16 de abril de 2024, terça-feira.

**A reportagem deve:**

- Identificar e explicitar as etapas percorridas ao longo do processo;
- Apresentar o protótipo em funcionamento, explicando e fundamentando as opções tomadas durante a sua conceção;

Algumas questões que podem ser úteis para auxiliar a apresentação deste tópico:

Quais foram as principais considerações de design que tiveram em mente ao criar o protótipo?

Como decidiram sobre os materiais a serem usados no protótipo?

Quais foram os maiores desafios que enfrentaram durante o processo de design?

Como resolveram esses desafios e quais foram as soluções adotadas?

Quais são as áreas que identificam como suscetíveis de melhoria do design do protótipo em versões futuras?

- “vender” o protótipo explicando em que medida corresponde aos requisitos;

Algumas questões que podem ser úteis para auxiliar a apresentação deste tópico:

Como avaliam a eficácia do design do protótipo em relação aos seus objetivos?

Quais foram os critérios que guiaram a seleção dos materiais para garantir que o protótipo respondesse aos requisitos?

Que critérios utilizaram para determinar se o design do protótipo atendeu às necessidades e expectativas?

- Inferir e/ou concluir sobre os seguintes aspetos:  
Como é que fatores como a ocupação e ventilação afetam os níveis de CO<sub>2</sub>?  
Que implicações podem ter elevados níveis de CO<sub>2</sub> no conforto e bem estar das pessoas?
- Avaliar, refletir e concluir sobre o processo de trabalho realizado, nomeadamente as competências e aprendizagens efetuadas ao longo do projeto quer a nível artístico, tecnológico, científico, social...

Neste tópico devem responder obrigatoriamente às seguintes questões:

- Como é que a investigação sobre as emissões de CO<sub>2</sub> e o seu impacto contribuiu para o vosso conhecimento sobre a temática da sustentabilidade e quais as descobertas mais surpreendentes ou reveladoras que fizeram durante a investigação?

- De que forma a atividade promoveu o desenvolvimento do vosso pensamento criativo e resolução de problemas? Exemplo de um problema que encontraram e como o resolveram de forma criativa?

- Quais foram os momentos mais significativos ou gratificantes que vivenciaram ao longo do projeto? Houve algum momento em que se sentiram particularmente orgulhosos do vosso trabalho ou das vossas conquistas?

- Quais foram os desafios e benefícios de trabalhar em grupo e como lidaram com diferentes ideias e opiniões durante o processo de design?

- Que competências tecnológicas, científicas e de resolução de problemas consideram ter desenvolvido ao realizar este projeto?

*Nota final:*

- *Foram colocados na plataforma classroom da turma os dois questionários finais: Motivação e Carreiras sobre o papel da Arte e da Ciência. Os alunos de Artes foram convidados a responder ao de Artes; os de Ciências foram convidados a responder ao de Ciências.*
- *À semelhança do efetuado no início da sequência didática o inquérito foi disponibilizado no início da semana, por forma a ser respondido ao longo da mesma e não retirar tempo de aula.*