



Artigo

A Integração das Áreas STEAM através do Design de Engenharia no Contexto da Impressão 3D

Ana Barbosa

Instituto Politécnico de Viana do Castelo; inED, Centro de Investigação e Inovação em Educação, Instituto Politécnico do Porto

anabarbosa@ese.ipvc.pt | ORCID 0000-0002-6314-7080

Isabel Vale

Instituto Politécnico de Viana do Castelo; CIEC & UMinho
isabel.vale@ese.ipvc.pt | ORCID 0000-0001-6155-7935

Resumo

A Educação STEAM é considerada como uma abordagem instrucional que privilegia a resolução de problemas autênticos numa perspetiva interdisciplinar. Vários autores referem que promove o desenvolvimento de capacidades, como a resolução de problemas/pensamento crítico, criatividade, comunicação, colaboração, a par de conhecimentos e atitudes. Mas nem sempre se verifica uma integração eficaz das disciplinas envolvidas. O potencial do processo de design de engenharia (ED) através do seu ciclo constitui uma oportunidade para garantir a representatividade das áreas STEAM na resolução de um problema. Neste contexto, a impressão 3D pode ser um recurso eficaz para apoiar uma aprendizagem hands-on baseada em problemas num ambiente interdisciplinar, permitindo converter modelos virtuais em objetos físicos. Reporta-se um estudo, realizado com futuros professores do ensino básico, que visa compreender o modo como resolvem um problema de artefacto com recurso à impressão 3D, usando o ciclo de ED, e como percebem o papel de cada uma das áreas STEAM. Adotou-se uma metodologia qualitativa, sendo os dados recolhidos através da observação participante, documentos e registos fotográficos. Participaram 72 futuros



professores que resolveram um problema que envolvia a construção de um barco, usando a impressão 3D com design prévio no Tinkercad. Os resultados mostram que: compreenderam o problema, identificando constrangimentos ao experimentar dois modelos previamente apresentados; não valorizaram o planeamento através de sketches, fundindo esta etapa com a de construção no Tinkercad, experimentando diferentes designs; testaram os modelos criados, aferindo as razões da sua (in)eficácia; evidenciaram algumas dificuldades em descrever o processo; conseguiram facilmente identificar a representatividade das Ciências, Matemática e Tecnologia.

Palavras-chave: Educação STEAM; Design de Engenharia; Resolução de Problemas; Impressão 3D; Formação de Professores.

Abstract

STEAM Education is recognized as an instructional approach that favors authentic problem solving from an interdisciplinary perspective. Several studies report that it promotes the development of skills such as problem solving/critical thinking, creativity, communication, collaboration, along with knowledge and attitudes. However, the disciplines involved are not always effectively integrated. The potential of the engineering design (ED) process, through its cycle, provides an opportunity to ensure that STEAM areas are represented during problem solving. In this context, 3D printing can be an effective resource to support hands-on problem-based learning in an interdisciplinary environment. This paper reports on a study carried out with future primary school teachers, which aims to understand how they solve an artefact problem with 3D printing, using the ED cycle and how they perceive the role of each of the STEAM areas. A qualitative methodology was adopted, with data collected through participant observation, documents and photographic records. A total of 72 future teachers participated in the study, solving a problem involving the construction of a boat using 3D printing, with prior design in Tinkercad. The results show: participants understood the problem, identifying constraints by experimenting with two previously presented models; planning through sketches was undervalued, with this stage frequently merged with construction in Tinkercad as participants experimented with different designs; participants tested the models created and assessed the reasons for their (in)effectiveness; some showed difficulties describing the process; the participants were able to easily identify the representativeness of Science, Mathematics and Technology.

Keywords: STEAM Education; Engineering Design; Problem-Solving; 3D Printing; Teacher education.



Introdução

Vivemos tempos em que os problemas e as oportunidades em que as próximas gerações estarão envolvidas, principalmente devido aos constantes avanços tecnológicos e aos desafios sociais, são imprevisíveis (WEF, 2015). É, por isso, necessário preparar os alunos para essa realidade complexa, com ferramentas que lhes permitam enfrentar esses desafios, nomeadamente através do desenvolvimento de capacidades como os 4Cs, a resolução de problemas/pensamento crítico, criatividade, colaboração e comunicação, entre outras. A educação STE(A)M pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento dessas capacidades, promovendo o envolvimento dos alunos com problemas autênticos, abordagem que pode ser mais eficaz se forem alcançados níveis mais profundos de integração entre as disciplinas (English, 2016). O processo de Design de Engenharia (ED) pode contribuir para a realização de uma integração eficaz das Ciências, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, sendo uma mais valia para o currículo e para as práticas dos professores, recorrendo a problemas *hands-on*, baseados em projetos, com múltiplas resoluções, interdisciplinares e de natureza aberta (Hester & Cunningham, 2007). Considerando as etapas subjacentes ao ED, a impressão 3D pode ser um recurso eficaz para apoiar a aprendizagem prática e a iteração de projetos num ambiente interdisciplinar. No entanto, faltam de estudos no âmbito da educação no que respeita à utilização interdisciplinar da tecnologia de impressão 3D (Khurma & Khine, 2023), o que pode dificultar a compreensão de qual a melhor forma de integrar a impressão 3D no currículo.

Neste estudo, estamos interessadas em apresentar os fundamentos de ED a futuros professores do ensino básico (futuros professores de crianças de 3 a 12 anos) associados à impressão 3D, com o objetivo de compreender como os participantes resolvem um problema autêntico, que exige a construção de um modelo, usando a impressão 3D. O foco deste trabalho está na resolução de problemas potenciadores da integração das áreas STEAM, usando o ciclo de ED, sendo a impressão 3D um veículo para obter a solução. Para isso, formulamos as seguintes questões de investigação: 1) Como podemos caracterizar o desempenho dos futuros professores ao longo do processo de ED?; 2) Qual é a perceção dos futuros professores sobre o papel de cada uma das disciplinas STEAM?; 3) Que potencialidades e desafios identificam no uso do Design Assistido por Computador (CAD) e da impressão 3D?



Fundamentação Teórica

O potencial da educação STEAM

As tendências educacionais devem acompanhar as diferentes transformações que ocorrem no mundo complexo em que vivemos. O principal objetivo é dotar os alunos com as competências necessárias para lidar com os problemas que enfrentarão, preparando-os para empregos emergentes e contribuindo para o seu desenvolvimento como pessoas, cidadãos e profissionais (OCDE, 2022). Concentremo-nos especialmente nas capacidades em que o Fórum Económico Mundial (WEF, 2015, 2023) aponta como essenciais para abordar desafios complexos, o pensamento crítico/resolução de problemas, a criatividade, a comunicação e a colaboração, mais conhecidas como os 4Cs.

No contexto atual, o papel dos alunos no sistema educacional tem vindo a mudar de meros participantes na sala de aula, aprendendo apenas ao ouvir as orientações dos professores, para participantes ativos (OCDE, 2019). Os professores desempenham um papel fundamental na promoção do desenvolvimento das competências necessárias, alinhando as suas práticas de acordo com o que se espera dos seus alunos no futuro, criando oportunidades de aprendizagem adequadas num ambiente de aprendizagem ativa (Edwards, 2015; NCTM, 2014; Vale et al., 2022; WEF, 2023). A qualidade da aprendizagem dos alunos depende muito das escolhas dos professores, especialmente da natureza das tarefas propostas e das estratégias usadas para os desafiar e envolver (Chapman, 2015; Vale & Barbosa, 2023). A resolução de problemas autênticos, do mundo real, pode ajudar a impulsionar o desenvolvimento do conhecimento disciplinar específico, mas também dos 4Cs, juntamente com atitudes positivas (English et al., 2017; Vale et al., 2022). Os problemas autênticos são interdisciplinares por natureza e exigem o estabelecimento de conexões entre diferentes matérias e disciplinas (Dym et al., 2005; Weng et al., 2022). Estes problemas fornecem um contexto que reflete a maneira como o conhecimento e as capacidades são usados na vida real, assemelhando-se à complexidade e às limitações por norma encontradas (Gulikers et al., 2005), particularmente relacionadas com a vida cotidiana, mas, acima de tudo, de natureza aberta, permitindo diferentes abordagens e/ou diferentes (re)soluções.



Com base nas ideias anteriores, tem havido uma ênfase crescente na educação STE(A)M, reconhecendo que trabalhar com problemas autênticos implica o uso de conhecimentos e capacidades multidisciplinares e pensamento interdisciplinar, integrando conceitos relacionados com as Ciências, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática (Ng, 2019). Johnson (2013) define STEM como

uma abordagem instrucional que integra o ensino das disciplinas de ciências e matemática por meio da introdução de práticas de investigação científica, design tecnológico e de engenharia, análise matemática e temas e capacidades interdisciplinares do século 21. (p. 367).

A ideia de interdisciplinaridade e integração subjacente à educação STEM foi alargada às artes, gerando o acrónimo STEAM. A introdução de outras disciplinas, além das Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática, como as Artes, pode ajudar os professores a reforçar a criatividade e a inovação por parte dos alunos (Land, 2013; Yackman, 2008), expandindo as ferramentas da ciência e da engenharia por meio do pensamento criativo e do design artístico, além de promover o processo de criação de significados que terá impacto no envolvimento dos alunos na educação STEAM (Land, 2013; Wynn & Harris, 2012). A educação STE(A)M considerada como uma construção interdisciplinar tem recebido cada vez mais atenção, mas muitos investigadores manifestam preocupação com o foco disciplinar desigual, que não garante um estatuto similar às disciplinas, bem como com as diferentes interpretações da integração (English, 2016; Martín-Páez et al., 2019; Ortiz-Revilla et al., 2022; Yackman, 2008). As perspectivas sobre a integração das áreas STEAM tendem a variar, mas, devido à inexistência de uma disciplina STE(A)M no currículo da maioria dos países, a tendência é que as matérias tenham um papel dominante ou sejam enfatizadas duas ou mais disciplinas, especialmente as ciências e a matemática, já que constam oficialmente da matriz curricular do ensino obrigatório (Vale et al., 2022).

A relação entre as disciplinas na educação STE(A)M deve ser de natureza interativa para destacar as ligações estruturais e evitar uma abordagem isolada (Yackman, 2008). Normalmente, essas disciplinas são ensinadas de forma independente, pois cada uma tem um currículo específico e objetivos separados, mas no mundo real espera-se que estejam intimamente relacionadas e até mesmo interseccionadas (Cunningham, 2018). Isto justifica o fato de as abordagens interdisciplinares e transdisciplinares estarem a ganhar apoio (English, 2016), tornando as conexões mais



transparentes, por meio de uma integração eficaz de conteúdos procedimentais, conceituais e atitudinais dentro das disciplinas STEAM (Vale et al., 2022). Estas ideias estão alinhadas com a necessidade de promover o desenvolvimento das capacidades dos alunos para resolver problemas do mundo real, que exigem o uso de conhecimentos e capacidades que abrangem diferentes disciplinas.

Design de engenharia e a educação STEAM

A realização de níveis mais profundos de integração na educação STEAM (interdisciplinar, transdisciplinar) tem sido fortemente apoiada (English, 2016; NAE & NRC, 2014), defendendo que muitos contextos e problemas do mundo real exigem o estabelecimento de conexões explícitas dentro e entre as disciplinas. Uma abordagem possível que se encaixa neste âmbito é o uso do processo de Design de Engenharia (ED), conhecido por proporcionar a integração de conteúdos STEAM com um papel mais equilibrado das disciplinas envolvidas (English et al., 2017; Kelley & Knowles, 2016; Vale et al., 2022). O ED, por meio do processo subjacente, associado às práticas de engenharia, facilita o desenvolvimento de capacidades do século XXI, como os 4Cs, aplicadas a problemas autênticos que exigem a integração de conceitos interdisciplinares.

O ED é considerado uma competência básica em engenharia, definido de acordo com Dym et al. (2005) como um:

processo sistemático e inteligente no qual os designers geram, avaliam e especificam conceitos para dispositivos, sistemas ou processos cuja forma e função atingem os objetivos dos clientes ou as necessidades dos utilizadores, satisfazendo um conjunto específico de restrições. (p.7)

A implementação do processo de ED pode ser descrita como a capacidade de lidar com um problema de natureza aberta, identificar as suas condições, estabelecer os critérios correspondentes e aderir a esses critérios e às condições para executar um processo de design e criar uma solução prática, geralmente um modelo (Grubbs & Strimel, 2015). As estratégias de resolução de problemas dos alunos do ensino básico não são muito diferentes das dos engenheiros profissionais, com a exceção de que os alunos têm menos experiência e níveis mais baixos de sofisticação. Por isso, é importante iniciar o ensino da engenharia desde os primeiros anos,

aproveitando a inclinação natural das crianças para projetar, construir e desmontar coisas para ver como funcionam (English & King, 2015; Hester & Cunningham, 2007). De acordo com a literatura o processo de ED foca-se em decompor um problema pouco estruturado e frequentemente complexo, resolvendo-o por meio da produção de várias ideias e atingindo uma meta por meio de um caminho aberto, obtendo várias soluções que devem ser avaliadas (Dasgupta et al., 2019; Dym et al., 2005).

Podemos encontrar vários modelos para o processo de ED inspirados no de Hester e Cunningham (e.g., English et al., 2015). Trata-se de um modelo iterativo composto por cinco etapas (perguntar, imaginar, planejar, criar e melhorar), criado no âmbito do programa Engineering is Elementary para tornar os processos de design mais acessíveis desde os anos iniciais. Com base nessas ideias, no modelo que propomos alteramos a designação de algumas etapas, para tornar o processo mais claro para os alunos, e introduzimos a possibilidade de mais iterações, acompanhadas de perguntas orientadoras e sugestões que envolvem a tomada de decisões (Figura 1).

Figura 1

Ciclo adaptado do processo de ED (Vale et al., 2022)





O processo de ED adaptado é, assim, composto de sete etapas: problema (definir o problema/identificar as restrições); imaginar (fazer um *brainstorming* de ideias/procurar possíveis soluções/escolher a melhor); *design* (planear a solução/desenhar um esboço); (re)construir (seguir o plano, criar e construir a ideia); (re)testar e avaliar (testar e avaliar a ideia/protótipo); *redesign* (discutir o que funciona/o que não funciona/melhorar/modificar o projeto para torná-lo melhor/testá-lo mais uma vez); e solução (partilhar e comunicar a solução/resultados/produto obtido). Como se pode ver na Figura 1, após a etapa de testar e avaliar, incluiu-se a possibilidade de *redesign*, reconstruir e testar novamente, caso os alunos precisem de melhorar o artefacto/protótipo para atender às necessidades exigidas.

Concluindo, o ED pode ser considerado uma abordagem integrativa de nível superior, com o objetivo de ensinar e aplicar conceitos científicos, mas também de oferecer oportunidades de aprendizagem experimental e do mundo real. Nesse sentido, pode ser usado para aprofundar/promover a aquisição de conhecimentos científicos, tecnológicos, artísticos, matemáticos e de engenharia por parte dos alunos, expandindo as suas perspetivas por meio de estratégias *hands-on/minds-on*.

Design de engenharia com recurso ao CAD e impressão 3D

As experiências *hands-on* defendidas pelo Movimento *Maker*, são consideradas abordagens eficazes para a aprendizagem pelas suas raízes nos princípios da aprendizagem ativa, que implicam a interligação entre o envolvimento cognitivo, social e físico (Edwards, 2015; Vale & Barbosa, 2020). A noção de *Making* pode ser mais direta e prática, transformando ideias em modelos 3D usando apenas materiais físicos, mas pode ser um processo de aprendizagem flexível que inclui a produção de artefactos aperfeiçoados pela tecnologia (Ng & Chan, 2018). A tecnologia pode ter uma função específica neste contexto, apoiando o desenvolvimento de ideias e a resolução de problemas por meio de diferentes recursos. A abordagem integrativa da educação STEAM com recurso ao ED pode beneficiar de tecnologias emergentes, como a impressão 3D e *software* CAD (Design Assistido por Computador), apresentando problemas que levem à manipulação e à criação de artefactos mediados pela tecnologia. Os ambientes CAD podem ser vistos como uma extensão tecnológica do



planeamento, processamento e produção da tradicional abordagem *hands-on*, que permite a criação de representações virtuais de objetos físicos. Este tipo de recurso digital é geralmente usado para prever o resultado de um determinado projeto ou avaliar o seu desempenho, apoiando o envolvimento criativo na resolução do problema e a comunicação de ideias por meio de representações gráficas (Dasgupta et al., 2019). Podemos encontrar uma grande variedade de softwares CAD no mercado, mas nem todos são adequados para o ensino básico e secundário, especialmente para o ensino básico, devido aos requisitos complexos de utilização. Neste estudo, escolhemos o Tinkercad, um *software* CAD gratuito e fácil de usar, disponível na Web, com recurso à função *drag and drop*. O utilizador cria os projetos arrastando as formas do menu, soltando-as no plano de trabalho e modificando os modelos 3D que podem ser manipulados usando um *interface* simples e intuitivo (Kaya et al., 2022). Por ser um software disponível online, não requer instalação nem hardware especial, o que reforça a ideia de acessibilidade mais fácil para professores e alunos. Os alunos podem usar o Tinkercad para simular e experimentar diferentes cenários, usar a tentativa e erro, aprendendo com o processo de cometer erros e corrigi-los, resolver problemas e tomar decisões com pouco risco e sem desperdiçar recursos (Bowen et al., 2016), o que está de acordo com o processo de ED. A criação de modelos 3D neste tipo de ambiente virtual e a possibilidade de manipulá-los é importante para o desenvolvimento do pensamento espacial e das capacidades de visualização em geral, fundamentais não só para a proficiência em matemática, mas também em muitos outros campos do conhecimento (Küçük et al., 2024; Zhu et al., 2024).

Recentemente, as impressoras 3D estão a assumir uma função importante no apoio à resolução de problemas enquanto *hardware* emergente. Uma impressora 3D é um dispositivo que converte dados de computador 3D em objetos tangíveis (Güleryüz, 2023), dando aos alunos a oportunidade de planear e criar modelos 3D por meio de capacidades de *design thinking*, dando vida a objetos virtuais (Khurma et al., 2023). A possibilidade de ver o processo de impressão e tocar o objeto idealizado pode constituir uma experiência única para os alunos e despertar uma sensação de satisfação (Güleryüz, 2023). Esse processo ajuda a promover uma experiência de aprendizagem mais eficaz, contrastando o conhecimento teórico com a prática e reconhecendo/eliminando possíveis conceções incorretas. Esta abordagem envolve os alunos na obtenção de uma solução autêntica de um problema, especialmente no processo de ED, pois permite identificar falhas no projeto antes de tentar fazer outras modificações (Khurma et al., 2023).



Metodologia

Opções metodológicas

Este estudo tem por base o paradigma interpretativo, assumindo um design exploratório qualitativo (Erickson, 1986). Estas opções metodológicas são sustentadas pela natureza do problema que se centra na compreensão de como futuros professores do ensino básico resolvem um problema autêntico, que exige a construção de um artefacto, utilizando o processo de ED no contexto da impressão 3D. Assim sendo, é necessário desenvolver uma compreensão aprofundada de uma experiência vivenciada e a construção de novos entendimentos que podem contribuir para investigações futuras (Yin, 2003). Considerando o problema acima referido, centramo-nos nas seguintes questões de investigação: 1) Como podemos caracterizar o desempenho dos futuros professores ao longo do processo de ED?; 2) Qual é a perceção dos futuros professores sobre o papel de cada uma das disciplinas STEAM?; 3) Que potencialidades e desafios identificam no uso do Design Assistido por Computador (CAD) e da impressão 3D?

Contexto e participantes

Esta investigação foi realizada com setenta e dois estudantes em formação inicial, a frequentar o primeiro semestre do terceiro ano de uma licenciatura em Educação Básica com a duração de seis semestres, que aceitaram participar do estudo de forma voluntária e informada. Apesar de este curso não conferir habilitação profissional para a docência, a quase totalidade dos estudantes que o frequenta são futuros professores de crianças dos 3 aos 12 anos. Os participantes estavam a frequentar uma unidade curricular (UC) do âmbito da Didática da Matemática, intitulada Matemática Integrada, lecionada pelas investigadoras, que serviu de contexto à experiência e à recolha dos dados. O estudo decorreu de forma integrada na UC, de acordo com os objetivos e a estrutura do programa. O trabalho desenvolvido ao longo do semestre baseou-se nas atuais orientações curriculares para o ensino e aprendizagem da matemática (DGE, 2021), privilegiando capacidades fundamentais, como os 4Cs, e a análise e discussão de tarefas ricas e desafiantes, tendo em consideração os princípios da aprendizagem ativa. Incluiu módulos de ensino sobre resolução de problemas, criatividade, conexões matemáticas (internas e externas), raciocínio e comunicação.

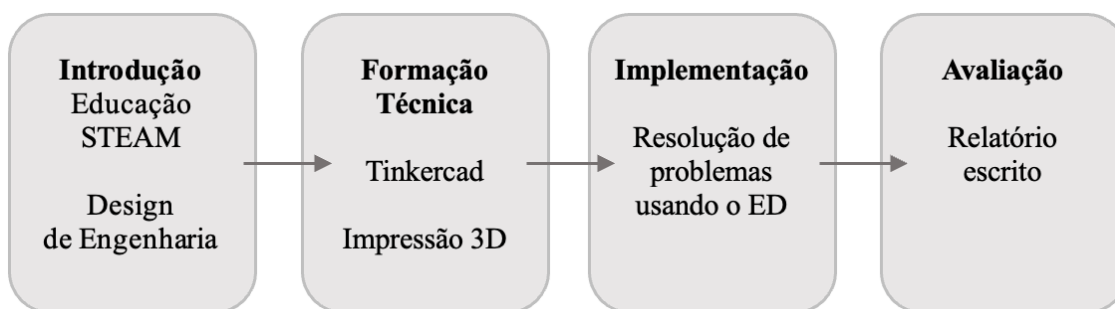


A experiência didática

A experiência didática subjacente ao estudo contou com quatro etapas principais, desenvolvidas durante as aulas da unidade curricular (Figura 2):

Figura 2

Etapas da experiência didática



A primeira etapa (uma aula, 3 horas) serviu para apresentar a educação STEAM como uma tendência atual com potencial para promover a resolução de problemas autênticos, numa perspetiva interdisciplinar, onde as conexões podem ser enfatizadas. Em seguida, numa abordagem, mais específica, introduziu-se e analisou-se o ciclo de ED como um processo que promove níveis mais profundos de integração entre as disciplinas STEAM, identificando-o como um modelo de resolução de problemas adequado para problemas de engenharia, utilizando o modelo proposto por Vale et al. (2022) (Figura 1). Antes de iniciarem a fase de implementação, os participantes necessitaram de formação relativamente à componente técnica das ferramentas utilizadas. Nenhum dos alunos tinha experiência prévia com software CAD, particularmente Tinkercad, e impressão 3D, por isso foi importante dar-lhes algum tempo para explorar estes recursos até se sentirem confiantes na sua utilização (duas aulas, 6 horas). Esta oportunidade foi também uma etapa de formação fundamental, uma vez que os futuros professores deverão conhecer e vivenciar as opções que têm ao utilizar determinado recurso tecnológico e como utilizá-lo em todo o seu potencial com os seus futuros alunos. Durante esta etapa, os participantes foram desafiados a desenhar um porta-chaves com o seu nome no Tinkercad e depois puderam ver a impressora 3D em ação para saber como funcionava.

A terceira e principal etapa da experiência didática (duas aulas, 6 horas) foi a implementação, correspondente à apresentação e resolução do problema e procura da solução. Apresenta-se o problema proposto na Figura 3.

Figura 3

O problema do barco



Quantas moedas de €0,05 consegues colocar num barco de plástico sem que afunde?

Testa os modelos previamente construídos.

Estabelece um plano de um barco diferente dos anteriores, para construção no Tinkercad e posterior impressão 3D, que seja mais eficiente face às condições do problema.

As dimensões do novo modelo não devem exceder, em cm, 9 x 9 x 3.

Em cada aula os participantes trabalharam em grupos de três/quatro elementos, correspondendo a um total de dezoito grupos. Os materiais necessários à experiência foram fornecidos pelas professoras/investigadoras, assim como a impressora 3D e o filamento PLA. Os participantes usaram os seus próprios portáteis ou tablets para trabalhar com o Tinkercad. Antes da implementação, as investigadoras lembraram o ciclo do processo de ED (Figura 1) como referência para facilitar o passo a passo no desenrolar da atividade.

Na última etapa, após a resolução do problema e conclusões, os participantes redigiram um relatório em grupo refletindo sobre a experiência didática. Este relatório deveria incluir aspectos como: conclusões dos testes realizados com os dois modelos iniciais, focando-se nas variáveis que influenciaram os resultados; descrição do trabalho desenvolvido para obtenção do modelo 3D final (seguindo o processo de ED); comparação do comportamento do modelo construído com os iniciais, analisando as diferenças; oportunidades e dificuldades de aprendizagem; e conceitos STEAM envolvidos.



Recolha e análise de dados

Os dados foram recolhidos de forma holística, descritiva e interpretativa (Patton, 2015) consistindo em: observação participante, documentos, artefactos e fotos. O facto de as investigadoras também serem as professoras responsáveis pela UC facilitou a observação participante naturalista e o registo de notas, com foco nas reações, interações, conversas, discussões e interpretações dos futuros professores, incluindo um registo de factos, mas também os comentários das investigadoras sobre esses factos. Os relatos dos grupos complementaram as observações, permitindo um acesso mais aprofundado às ideias e perceções dos participantes. Os artefactos, nomeadamente os modelos 3D construídos, representam a aplicação do processo ED por cada grupo, reforçando algumas das decisões e ações implementadas na resolução do problema. As fotografias, recolhidas tanto pelas investigadoras como pelos participantes, ilustram ações e representações específicas em diferentes momentos da implementação. Esta investigação teve em consideração preocupações éticas, garantindo a confidencialidade e o anonimato dos participantes, obtendo o consentimento informado por escrito para a recolha dos dados acima mencionados e tratando os dados respeitando a privacidade.

Para a análise dos dados, recorreu-se a uma abordagem qualitativa, indutiva, aplicando a análise de conteúdo (Miles & Huberman, 1994) para interpretar os dados de forma sistemática, com recurso às múltiplas fontes de evidência recolhidas, procurando dados complementares e o reforço da credibilidade, corroborando dados de diferentes fontes. Após repetidas consultas e leituras das informações, cruzando as evidências, foi possível gerar categorias de análise, influenciadas principalmente pelas questões da investigação, complementadas pelo referencial teórico e pelos dados recolhidos: desempenho no ED (Problema, Imaginar, Design, (Re)Construir, (Re)Testar e avaliar, Redesenhar e Solução); papel de cada disciplina STEAM; potencialidades e desafios do Tinkercad e da impressão 3D.

Resultados e Discussão

Os resultados são apresentados e discutidos em três seções, começando pelo desempenho ao longo do processo de ED (etapa de implementação da experiência didática) e segue-se a



perceção dos futuros professores sobre o papel das disciplinas STEAM e a identificação de potencialidades e desafios no uso do Tinkercad e impressão 3D. Para relatar os principais resultados, são utilizadas as informações recolhidas através das notas observacionais, dos relatórios escritos produzidos pelos futuros professores, dos artefactos e de fotos ilustrativas.

Desempenho ao longo do processo de ED

O problema

O problema apresentado (Figura 3) foi escolhido por ter potencial para envolver os futuros professores no processo de ED, fazendo uso de todas as disciplinas STEAM de forma integradora. Os participantes começaram por abordar o problema, utilizando os materiais disponíveis (recipiente com água, moedas de 5 cêntimos e dois modelos de barcos impressos em 3D) e identificaram as condições e constrangimentos, envolvendo-se na situação (Figura 4). Cada grupo testou o comportamento e a eficácia dos dois modelos iniciais (jangada – conjunto de semicilindros unidos; barco – junção de um prisma triangular com um paralelepípedo com um orifício), discutindo a influência das formas, da disposição das moedas e do posicionamento de cada modelo no recipiente com água. Foram realizadas diversas experiências que levaram à troca de ideias e à formulação de conjeturas e hipóteses.

Figura 4

Teste dos modelos iniciais



Analisando os resultados dos testes realizados, os grupos concluíram que a “jangada” suportou em média doze moedas e o “barco” trinta e duas moedas. Esta fase inicial permitiu-lhes



envolverem-se com o problema, numa perspetiva prática, tornando-os mais conscientes das condições, de certas limitações (e.g., altura reduzida) e potencialidades dos modelos (e.g. ter um orifício), o que permitiu que os participantes tomassem decisões mais informadas nas etapas seguintes.

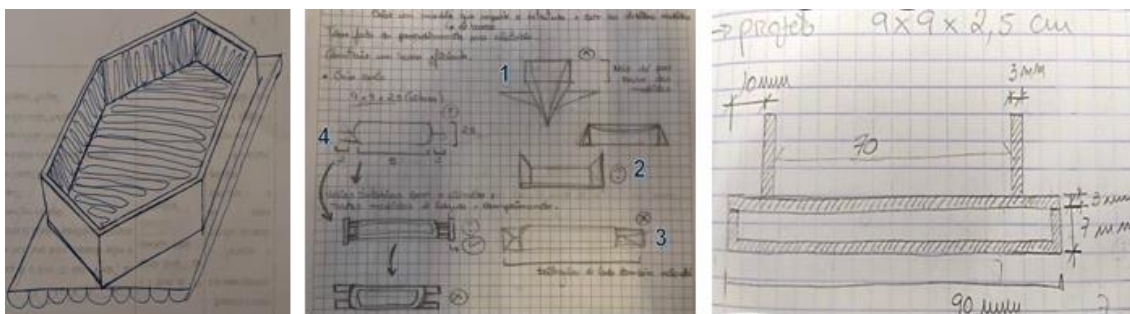
Imaginar e design

Os futuros professores foram incentivados a criar esboços representativos das suas ideias para um novo barco, tentando tornar os seus planos mais concretos, comunicando visualmente as suas decisões para o modelo pretendido. Antes dessa etapa, durante o *brainstorming*, começaram por partilhar e discutir possíveis soluções para o problema apresentado. Alguns pensaram em referências conhecidas do quotidiano, como um porta-contentores, conhecido por suportar muito peso, outros recorreram a pesquisas na *internet*, tentando encontrar modelos de barcos que se adaptassem às condições, outros basearam sua discussão no comportamento dos modelos testados na primeira etapa, pensando em formas de adaptá-los e criar um barco mais eficiente (p.e. juntar os dois modelos; adaptar aquele que sustentava mais moedas; criar modelos com compartimentos/cavidades, aproveitando a altura máxima).

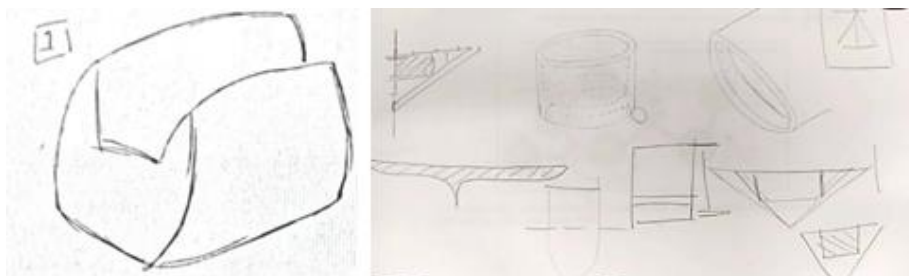
Apenas oito grupos fizeram esboços do modelo na etapa de design do processo de ED. Os demais começaram imediatamente a experimentar possibilidades no Tinkercad, passando diretamente do brainstorming para a etapa de construção, sem representar as suas ideias no papel. Alguns dos grupos apresentaram esboços claros de uma possível solução e, em certos casos, foram suficientemente minuciosos para representar a evolução das suas ideias até chegarem ao modelo que escolheram construir (Figura 5). Porém, nem todos os oito grupos apresentaram esboços claros, realizando desenhos pouco perceptíveis ou inviáveis em termos de construção no Tinkercad (Figura 6).

Figura 5

Sketches claros do novo modelo

**Figura 6**

Sketches pouco claros ou inviáveis no Tinkercad



Construir, testar/avaliar e redesign

Depois de imaginar e projetar o barco, os participantes passaram à construção do modelo 3D utilizando o Tinkercad (Figura 7). No âmbito da experiência didática, os futuros professores contactaram previamente com este ambiente CAD, familiarizando-se com as suas principais funções (e.g., arrastar e largar, redimensionar, rodar, alterar vistas, agrupar), para que se sentissem confortáveis na utilização desta ferramenta na resolução do problema.

**Figura 7***Construção dos modelos no Tinkercad*

A maioria dos grupos tentou construir o modelo inicialmente planeado no Tinkercad, mas nem todos conseguiram implementar a ideia escolhida, por diferentes razões: ao utilizarem o *software* CAD encontraram uma forma de tornar o modelo mais eficaz (e.g., aplicar orifícios; combinar formas) ou mais criativo, no sentido de ser original; o modelo planeado foi difícil de criar com o Tinkercad devido à sua complexidade em termos de construção (e.g., as formas, o agrupamento, os orifícios necessários). Durante a construção do novo modelo, e por utilizarem o Tinkercad, a maioria dos grupos também aplicou o *Redesign*, abrindo espaço para melhorias aplicadas por meio de iterações sucessivas antes mesmo da etapa de teste e avaliação do processo de ED. Nem todos os participantes pensaram nas medidas do modelo na fase de planeamento, apenas na forma, mas essa necessidade surgiu ao trabalhar com o Tinkercad. Então foi só nessa etapa que pensaram nas medidas e também tentaram otimizá-las para garantir mais espaço para as moedas. Outro motivo para o *redesign* relacionou-se com o uso de cavidades/orifícios, que no ambiente virtual nem sempre era de fácil construção devido ao rigor necessário, tendo que combinar sólidos, medidas, aspetos relacionados com simetria e profundidade do orifício para não perfurar o modelo. Nestes casos de *redesign* os grupos mencionaram globalmente a importância de ter em conta fatores como a profundidade (e.g., criar espaço para as moedas; uma altura que compense o movimento da água), estabilidade e equilíbrio do modelo (e.g., considerar a base), que não foram tão bem planeados.

Depois de concluir o projeto no Tinkercad, guardaram-no como um arquivo STL e usaram o *Ultimaker Cura* para fatiar o modelo antes de imprimi-lo. Após a impressão 3D, os modelos foram observados e comparados. A Figura 8 ilustra alguns dos resultados.

Figura 8

Exemplos de alguns dos modelos impressos



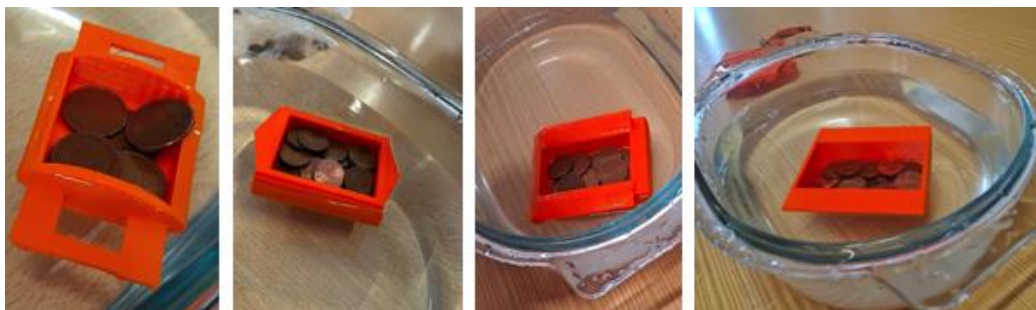
Globalmente, podemos categorizar os modelos em três grupos, em termos de diversidade: 1) modelos recorrendo maioritariamente a prismas, com semelhanças com o barco inicial; 2) modelos resultantes da combinação de prismas com sólidos não poliedros; 3) construções mais originais. Dois dos modelos desenhados não corresponderam ao que os respetivos grupos esperavam devido a erros de construção no Tinkercad, relacionados com agrupamentos incorretos (Figura 9) ou pelo nível de detalhe e precisão da impressora (e.g., divisórias com uma espessura reduzida).

Figura 9

Modelos com erros de construção



Após esta discussão, cada grupo testou o respetivo modelo (Figura 10) à luz das condições do problema, tendo em conta os resultados dos testes realizados com os barcos iniciais.

Figura 10*Teste dos modelos*

Dos dezoito grupos, nove concluíram que o seu modelo era menos eficaz por comparação com o “barco” da etapa inicial, uma vez que suportava um número menor de moedas. Em particular, dois destes modelos suportavam apenas 5/6 moedas (e.g., 1.^a foto da Figura 10) devido ao facto de não considerarem as dimensões reais do modelo no Tinkercad e serem influenciados pelo ambiente virtual, focando-se apenas na forma.

Solução

A última etapa da experiência didática correspondeu à redação do relatório no qual os grupos tiveram que descrever e discutir, entre outros aspetos, como resolveram o problema seguindo o processo de ED. Através deste relatório foi possível ter ideias mais detalhadas sobre os resultados. Cada grupo organizou e apresentou os dados recolhidos ao longo da experiência, embora com diferentes níveis de profundidade na argumentação. De uma forma geral, todos os grupos compararam a eficácia dos três barcos, os dois apresentados inicialmente e o que construíram, em termos do número de moedas sustentadas, procurando refletir sobre o comportamento de cada um, nomeadamente no modelo construído. Com esta reflexão, puderam pensar nos pontos fortes e fracos do seu trabalho e no que fariam de diferente, principalmente os grupos que não tiveram sucesso, pelo facto de o seu modelo sustentar um menor número de moedas. As ideias mais comuns foram: ajustar as medidas no Tinkercad, assumindo que não tinham em conta a transição do modelo virtual para o objeto real; ser mais rigoroso na utilização das funções do Tinkercad,



nomeadamente a função de agrupamento, que nem sempre foi considerada; otimizar as medidas do modelo, utilizando orifícios com maior profundidade para dispor mais moedas. Foram utilizados outros argumentos com o intuito de melhorar o produto, embora com menor frequência, como a possibilidade de desenhar um modelo mais criativo e também a utilidade de poder experimentar uma representação física do seu protótipo antes de recorrer ao Tinkercad.

Perceção do papel das disciplinas STEAM

O relatório escrito também nos deu informações sobre a perceção dos participantes acerca do papel das disciplinas STEAM na resolução deste problema. A maioria identificou o papel das disciplinas STEAM (Tabela 1), porém tiveram maior facilidade em analisar a presença das Ciências (Física) e da Matemática, possivelmente por serem áreas com uma presença mais evidente no currículo escolar, principalmente no ensino básico.

Tabela 1

Conceitos associados a cada uma das disciplinas STEAM

Ciências	Tecnologia	Engenharia	Artes	Matemática
Forças, Peso, Massa, Equilíbrio, Flutuação, Estabilidade, Densidade, Tensão superficial, Lei de Arquimedes	Construção de um modelo em ambiente virtual, Impressão 3D do modelo, Possibilidade de experimentar diferentes modelos	Processo de ED Associação à Tecnologia	Design, Criatividade, Sketches	Conceitos geométricos utilizados na construção do modelo, Simetria, Medidas, Cálculos, Resolução de problemas.

Apesar de conseguirem referir os conceitos identificados na Tabela 1, os argumentos evidenciaram frequentemente falta de rigor na linguagem utilizada, nomeadamente no que diz respeito a: conceitos geométricos - “telhado”, “pontas”, “oco”, “meio cilindro”, “pirâmide” em vez de prisma triangular, “triângulo” em vez de prisma triangular, “lado reto”; conceitos de física – confusão entre peso e massa, “uniforme” ou “sustentação” em vez de estabilidade ou equilíbrio. Além disso,



a maioria dos grupos não conseguiu aprofundar a sua argumentação em termos do papel da física, concentrando-se principalmente na flutuação, estabilidade e equilíbrio.

Potencialidades e desafios da tecnologia

A resolução deste problema exigiu a utilização de tecnologia específica, nomeadamente um *software* CAD (Tinkercad) e uma impressora 3D. Os participantes receberam formação técnica focada no uso desses recursos na segunda etapa da experiência didática para os aplicarem na etapa seguinte (ciclo de ED). Após a resolução do problema, foi solicitado que identificassem no relatório escrito as potencialidades e desafios da utilização do Tinkercad e da impressora 3D. Globalmente, reconheceram a importância de contactar com ambos os recursos, considerando a etapa de formação fundamental na preparação de futuras intervenções, mas também para desmistificar a complexidade da utilização de uma impressora 3D.

Consideraram o Tinkercad uma ferramenta intuitiva e fácil de usar. Sendo futuros professores do ensino básico, valorizaram a possibilidade de construir uma variedade de objetos a partir de um conjunto de sólidos, que podem ser agrupados e recortados, promovendo a criatividade. Puderam experimentar facilmente diferentes possibilidades, redesenhando os seus modelos as vezes que acharam conveniente, valorizando o processo de tentativa e erro. Foram identificadas também algumas dificuldades que, na opinião dos participantes, podem ser vivenciadas pelos seus futuros alunos, como: navegar pelos ângulos das câmaras, mudando as visualizações no Tinkercad; e em garantir que o agrupamento foi feito corretamente, selecionando as formas adequadas (aspecto que, em alguns casos, só foi identificado na impressão do modelo). A maioria considerou o Tinkercad uma ferramenta útil que declararam vir a aplicar em projetos futuros, não só em Matemática, devido ao seu potencial no que diz respeito à aprendizagem de conceitos geométricos e ao desenvolvimento do pensamento espacial, mas também no trabalho interdisciplinar.

Relativamente à impressora 3D, os participantes reagiram positivamente à possibilidade de construir virtualmente um objeto e convertê-lo em algo tangível, apesar de em dois casos (por problemas na fase de criação no Tinkercad ou limitações da impressora) o modelo não corresponder ao resultado esperado. O único desafio mencionado por alguns dos grupos prendeu-se com as limitações de tempo na sala de aula, relativamente à duração da impressão e à necessidade de



imprimir vários projetos. A reação global dos futuros professores ao processo de impressão e ao próprio modelo foi de entusiasmo e satisfação. Concordaram que a impressão 3D pode ser uma ferramenta útil para criar oportunidades para que sejam os alunos eles próprios designers e concretizem os projetos que desenvolvem. Destacaram positivamente a possibilidade de proporcionar aos alunos experiências tangíveis, úteis para a compreensão de conceitos matemáticos, relacionados com o sentido espacial e a visualização.

Conclusões

Este estudo teve como objetivo proporcionar alguns insights sobre a abordagem da educação STEAM por meio do Design de Engenharia, recorrendo à impressão 3D, no contexto da formação de professores. Focou-se especificamente nas etapas do processo de ED, no papel percebido pelas disciplinas STEAM, visando uma perspectiva integradora, e nas componentes técnicas e pedagógicas subjacentes ao uso de um ambiente CAD e impressão 3D. As principais conclusões do estudo são apresentadas a seguir, organizadas de acordo com as questões da investigação.

Foi proposto aos participantes um problema autêntico que exigia a aplicação de conceitos multidisciplinares no âmbito da educação STEAM, que tiveram de resolver usando o processo de ED. O modelo de ED apresentado foi o de Vale et al. (2022), adaptado de Hester e Cunningham (2007) (Figura 1), composto por sete etapas (Problema, Imaginar, *Design*, (Re)Construir, (Re)Testar e Avaliar, *Redesign*, Solução). O envolvimento na resolução do problema foi bem-sucedido, tendo os participantes identificado as condições e limitações da situação apresentada. O facto de terem tido a oportunidade de testar o comportamento dos modelos anteriores a partir de uma perspectiva prática e pensarem no trabalho colaborativo foi essencial, seguindo os princípios da aprendizagem ativa, com o surgimento das dimensões cognitiva, física e social (Edwards, 2015; Vale & Barbosa, 2020). Nesta etapa, fizeram comparações e formularam conjeturas com base nas experiências realizadas, o que influenciou as etapas seguintes do processo de ED, aplicando essas ideias à etapa de *brainstorming*.

A discussão de soluções alternativas baseou-se fundamentalmente em referências quotidianas que já conheciam, em pesquisas adicionais na Internet e na adaptação dos modelos testados, de modo que houve uma componente concreta que foi valorizada com base no



conhecimento prévio. Nem todos os grupos valorizaram a etapa de *Design*, alguns passaram imediatamente para a etapa de Construção usando o Tinkercad. Os grupos que usaram esboços apresentaram diferentes níveis de desempenho, desde esboços claros e intencionais, com um nível profundo de detalhe, até esboços pouco perceptíveis ou inviáveis no Tinkercad. Na etapa de construção, a maioria tentou construir a solução escolhida no Tinkercad, o que aconteceu em alguns casos. A maioria dos grupos combinou essa etapa com o Redesign por meio de experiências no ambiente CAD, identificando maneiras de obter um modelo mais eficaz ou criativo, ou porque acharam impossível construir o seu modelo devido ao nível de complexidade ou porque não haviam planejado as dimensões do barco. Nessa etapa (Construção), um pequeno número de participantes negligenciou as dimensões do modelo e concentrou-se apenas na forma, percebendo essa restrição somente após a impressão, e dois grupos relataram problemas no processo de impressão porque não obtiveram o modelo projetado, devido a erros cometidos ao usar o Tinkercad (agrupamentos, divisões não reconhecidas pela impressora por serem muito finas). Quando testaram os modelos, apenas metade dos grupos apresentou uma solução mais eficaz que poderia sustentar mais moedas do que o barco inicial. Embora esta seja uma taxa de insucesso significativa, associamos este cenário ao facto de ser a primeira experiência destes futuros professores e ao facto de terem construído o modelo num ambiente virtual com o qual acabaram de contactar. Teria sido mais fácil se o modelo tivesse sido construído do zero numa perspectiva *hands-on*, com materiais comumente usados, como um dos grupos sugeriu na sua reflexão. O nível de abstração exigido e as competências de pensamento espacial envolvidas podem ajudar a explicar este desempenho (Bhaduri et al., 2021; Zhu et al., 2024). Como se referiu anteriormente, alguns dos participantes não seguiram o ciclo de ED tal como foi apresentado (Figura 1), saltando (*Design*) ou fundindo (Construir e *Redesign*) etapas, um aspeto comum a outros estudos realizados com problemas diferentes de ED (English & King, 2015; Vale et al., 2022). Embora os resultados tenham ficado um pouco aquém do esperado, constatou-se que a partilha das soluções no relatório escrito foi um momento importante para que estes futuros professores identificassem os pontos fortes, os pontos fracos e os aspetos a melhorar no seu trabalho. Conseguiram perceber o que poderiam mudar na solução, tanto em termos de planeamento como no *design*, mas especialmente na etapa de construção no Tinkercad.



O uso do processo de ED em educação pode ser considerado uma mais valia no contexto do desenvolvimento de capacidades de resolução de problemas. Esta abordagem tem conexões naturais com a educação STEAM e é conhecida por permitir integrar os conteúdos STEAM com um papel mais equilibrado das disciplinas envolvidas (English & King, 2015; Kelley & Knowles, 2016; Vale et al., 2022). Colocando o foco nos (futuros) professores, é importante que estejam cientes deste potencial e, acima de tudo, sejam capazes de reconhecer o contributo de cada disciplina ao longo do processo de ED e o nível de interdependência entre elas (English, 2016). Os futuros professores que participaram neste estudo puderam refletir sobre essas questões com base na experiência didática, principalmente na fase de implementação, em que resolveram o problema do barco. A maioria foi capaz de identificar conceitos associados a todas as disciplinas STEAM, embora tenham achado mais fácil referir-se a conceitos de matemática e ciências (física). Este resultado pode estar relacionado com a tendência de enfatizar essas duas disciplinas devido ao seu estatuto ou por constarem da matriz curricular do ensino obrigatório (Martín-Páez et al., 2019; Vale et al., 2022). Apesar de terem usado explicitamente o ciclo de ED, nem todos os grupos o associaram à Engenharia, talvez por entenderem tratar-se mais de um processo de resolução de problemas do que um conteúdo.

O recurso a um ambiente CAD e a impressão 3D foram introduzidos neste estudo, numa tentativa de acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos e as tendências educacionais atuais em conexão direta com o processo de ED (Ng & Chan, 2018). Como resultado da experiência didática, os participantes puderam identificar algumas potencialidades e desafios no uso destas tecnologias. De modo geral, reagiram positivamente ao contato com o Tinkercad e a impressão 3D, que não conheciam, como parte da sua formação. O Tinkercad foi considerado fácil de usar, muito intuitivo e interativo, promotor da abordagem de tentativa e erro e com potencial para a exploração de conceitos geométricos, juntamente com a possibilidade de construção de modelos, ideias também mencionadas na literatura (Bowen et al., 2016; Kaya et al., 2022). Os desafios mencionados estavam relacionados com a utilização de visualizações e execução de determinados agrupamentos devido à complexidade de certos modelos. A impressão 3D gerou um entusiasmo esperado entre os participantes, dada a oportunidade de ver os seus projetos virtuais transformados em algo tangível (Güteryüz, 2023; Khurma et al., 2023). Outro aspeto considerando desafiante foram os constrangimentos relacionados com o tempo de duração da impressão. Dois grupos ficaram



desapontados com o resultado do objeto impresso, que não correspondia ao seu projeto, mas reconheceram que isso se devia a erros cometidos durante a construção no Tinkercad.

Tendo por base as conclusões deste estudo, propomos algumas recomendações para investigações futuras no campo da educação STEAM, do processo de ED e da impressão 3D, com o objetivo de facilitar o desenvolvimento e o avanço do conhecimento relacionado com estas temáticas. Alguns dos participantes não seguiram o modelo de ED exatamente como foi apresentado, saltando ou combinando etapas. Considerando estes resultados, mas também os resultados de estudos anteriores (Vale et al., 2022), achamos que é necessário reconsiderar o modelo de ED usado e adaptá-lo para o tornar mais claro e funcional para os utilizadores. Esta abordagem ajudou os futuros professores a perceber a presença das várias disciplinas STEAM, mas achamos que há ainda algum trabalho a ser feito na promoção de uma maior consciência das interseções e uma atenção disciplinar mais equitativa. Seria importante replicar este estudo com outros participantes, por exemplo, professores em serviço, cujo contributo poderia ser de extrema relevância para a literatura.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente apoiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito dos projetos do inED (Centro de Investigação e Inovação em Educação), com a referência UIDP/05198/2020, e no âmbito dos projetos do CIEC (Centro de Investigação em Estudos da Criança da Universidade do Minho) com as referências UIDB/00317/2020 e UIDP/00317/2020.

Referências Bibliográficas

- Bhaduri, S., Bidy, Q., Bush, J., & Suresh, A. (2021). 3DnST: A Framework Towards Understanding Children's Interaction with Tinkercad and Enhancing Spatial Thinking Skills. In M. Roussou, & S. Shahid (Eds.), *IDC '21: Proceedings of the 20th Annual ACM Interaction Design and Children Conference* (pp. 257-267). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3459990.3460717>
- Bowen, B., DeLuca, V., & Franzen, M. (2016). Measuring how the degree of content knowledge determines performance outcomes in an engineering design-based simulation environment for



- middle school students. *Informatics in Education*, 92-93, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.10.005>
- Chapman, O. (2015). Mathematics teachers' knowledge for teaching problem solving. *LUMAT*, 3(1), 19–36. <https://journals.helsinki.fi/lumat/article/view/1049>
- Cunningham, C. M. (2018). *Engineering in elementary STEM education: Curriculum design, instruction, learning, and assessment*. Teacher College Press.
- Dasgupta, C., Magana, A., & Vieira, C. (2019). Investigating the affordances of a CAD enabled learning environment for promoting integrated STEM learning. *Computers & Education*, 129, 122-142. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.014>
- DGE (2021). *Aprendizagens Essenciais de Matemática para os 1.º, 2.º e 3.º ciclos do ensino básico*. Direção-Geral da Educação.
- Dym, C.L., Agogino, A.M., Eris, O., Frey, D.D., & Leifer, L.J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, 94, 103–120. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>
- Edwards, S. (2015). Active learning in the middle grades. *Middle School Journal*, 46, 26–32. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1059827.pdf>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(3), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- English, L.D., & King, D.T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(14), 1–18. <http://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
- English, L.D., King, D.T., & Smeed, J. (2017). Advancing integrated STEM learning through engineering design: sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. *The Journal of Educational Research*, 110, 255–271. <https://doi.org/10.1080/00220671.2016.1264053>
- Erickson, F. (1986). Qualitative Methods in Research on Teaching. In M. Wittrockk (Ed.), *Handbook of Research on Teaching* (119–161). MacMillan.
- Grubbs, M., & Strimel, G. (2015). Engineering Design: The Great Integrator. *Journal of STEM Teacher Education*, 50(1), 77-90. <https://ir.library.illinoisstate.edu/jste/vol50/iss1/8>
- Güteryüz, H. (2023). Attitudes of Pre-Service Teachers on the Use of 3D Printing with Tinkercad in



- Science Education. *European Journal of Mathematics and Science Education*, 4(4), 217 – 228. <https://doi.org/10.12973/ejmse.4.4.217>
- Gulikers, J. T. M., Bastiaens, J. T. M., & Martens, R.L. (2005). The surplus of an authentic learning environment. *Computers and Human Behavior*, 21, 509–521. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2004.10.028>
- Hester, K., & Cunningham, C. (2007). Engineering is Elementary: An Engineering and Technology Curriculum for Children. *Proceedings of the ASSE Annual Conference and Exposition*.
- Johnson, C.C. (2013). Conceptualizing integrated STEM education. *School Science and Mathematics*, 113(8), 367–368. <https://doi.org/10.1111/ssm.12043>
- Kaya, E., Deniz, H., & Yesilyurt, E. (2022). Engineering Encounters: Can't Pick It Up? *Science and Children*, 60(1), 65–69. <https://doi.org/10.1080/19434812.2022.12291824>
- Kelley, T.R., & Knowles, J.G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3, 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Khurma, O., Ali, N., & Khine, M. (2023). Exploring the impact of 3D printing integration on STEM attitudes in elementary schools. *Contemporary Educational Technology*, 15(4), 458. <https://doi.org/10.30935/cedtech/13568>
- Küçük, M., Talan, T., & Demirbilek, M. (2024). The Effect of Creating 3D Objects with Block Codes on Spatial and Computational Thinking Skills. *Informatics in Education*, 00, 125-143. <https://doi.org/10.15388/infedu.2024.02>
- Land, M. (2013). Full STEAM Ahead: The Benefits of Integrating the Arts Into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547-552. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F., & Vílchez-González, J. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Miles, M.B., & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative Data Analysis*. Sage Publications.
- National Academy of Engineering (NAE) and National Research Council (NRC) (2014). *STEM integration in K-12 education: status, prospects, and an agenda for research*. The National Academies Press.
- NCTM (2014). *Principles to Actions - Ensuring Mathematical Success for All*. National Council of



Teachers of Mathematics.

- Ng, O., & Chan, T. (2018). Learning as Making: Using 3D computer-aided design to enhance the learning of shape and space in STEM-integrated ways. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 294-308. <https://doi.org/10.1111/bjet.12643>
- Ng, S. (2019). *Exploring STEM Competences for the 21st Century*. IBE-UNESCO.
- OCDE (2019). *Future of Education and Skills 2030, Report from OECD*. Available from https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/learning-compass-2030/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf
- OCDE (2022). *Trends Shaping Education 2022, Report from OECD*. Available from <https://doi.org/10.1787/6ae8771a-en>
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I.M., & Arriasecq, I.A. (2022). Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science & Education*, 31, 383–404. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x>
- Patton, M.Q. (2015). *Qualitative Evaluation and Research Methods*. Sage Publications.
- Vale, I., & Barbosa, A. (2020). Movement & learning: The gallery walk strategy. In G.S. Carvalho & P. Palhares (Eds.), *Improving Children's Learning and Well-Being* (pp. 7–22). UM-CIEC.
- Vale, I., & Barbosa, A. (2023). Visualization: A Pathway to Mathematical Challenging Tasks. In R. Leikin (Ed.), *Mathematical Challenges for All. Research in Mathematics Education* (pp. 283-306). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18868-8_15
- Vale, I., Barbosa, A., Peixoto, A., & Fernandes, F. (2022). Solving Problems through Engineering Design: an exploratory study with pre-service teachers. *Education Sciences*, 12(12), 1-26. <https://doi.org/10.3390/educsci12120889>
- WEF (2015). *New Vision for Education: Unlocking the Potential of Technology, Report from World Economic Forum*. Disponível em https://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_NewVisionforEducation_Report2015.pdf
- WEF (2023). *Defining Education 4.0: A Taxonomy for the Future of Learning, Report from World Economic Forum*. Available from https://www3.weforum.org/docs/WEF_Defining_Education_4.0_2023.pdf
- Weng, X., Cui, Z., Ng, O.L., Jong, M., & Chiu, T. (2022). Characterizing Students' 4C Skills Development During Problem-based Digital Making. *Journal of Science Education and*



Technology, 31, 372–385. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09961-4>

Wynn, T., & Harris, J. (2012). Toward A Stem + Arts Curriculum: Creating the Teacher Team. *Art Education*, 65, 42-47. <https://doi.org/10.1080/00043125.2012.11519191>

Yackman, G. (2008). STEAM education: An overview of creating a model of integrative education. In M. de Vries (Ed.), *Pupils Attitudes toward Technology (PATT-19), Conference: Research on Technology, Innovation, Design & Engineering Teaching*. ITEEA.

Yin, R.K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods*. Sage Publications.

Zhu, C., Klapwijk, R., Silva-Ordaz, M., Spandaw, J., & de Vries, M. (2024). Investigating the role of spatial thinking in children's design ideation through an open-ended design-by-analogy challenge. *International Journal of Technology and Design Education*. <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09877-7>