

## Qual o papel dos artefactos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática?

**Cecília Costa**

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro  
CIDTFF – Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores  
mcosta@utad.pt

**Isabel Cabrita**

Universidade de Aveiro  
CIDTFF – Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores  
icabrita@ua.pt

**Fernando Martins**

ESE- Instituto Politécnico de Coimbra  
NIEFI – Núcleo de Investigação, Educação, Formação e Intervenção  
[fmlmartins@esec.pt](mailto:fmlmartins@esec.pt)

**Rui Oliveira**

Agrupamento de Escolas de Ribeira de Pena  
ruimno@gmail.com

**J. Bernardino Lopes**

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro  
CIDTFF – Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores  
blopes@utad.pt

### Resumo

Este painel teve como ponto de partida a pergunta: Qual o papel dos artefactos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática? O painel teve uma parte inicial com intervenções dos membros do painel e uma segunda parte com debate alargado aos participantes do encontro. Das intervenções destaca-se a tónica nas perspetivas: 1 - Níveis de adoção de artefactos, o seu uso como ferramentas e orquestração instrumental (por que se entende necessária uma seleção criteriosa dos artefactos, contexto educativo para uso de artefactos como ferramentas epistémicas, características de uma orquestração instrumental eficaz); 2 -Olhares dos professores sobre o uso de artefactos no ensino e aprendizagem de matemática no ensino básico e secundário (a importância dos roteiros para uso eficaz dos artefactos) 3 - Aprendizagem ativa de matemática mediada por tecnologias em contextos exploratórios (contextualização, abordagem exploratória, estratégias didáticas inovadoras, as tecnologias na aprendizagem ativa de matemática, perspetivas); 4 - Integração da tecnologia na formação inicial de professores (integração da tecnologia para a aprendizagem de conceitos matemáticos, modelo de prática pedagógica (MPP) da Escola Superior de Educação de Coimbra). O debate mostrou que há diferentes abordagens teóricas para integrar a tecnologia na educação matemática. Mais importante, mostrou que há formas eficazes de integrar a tecnologia na aprendizagem de matemática.

**Palavras-chave:** educação em matemática; roteiros; ferramenta epistémica; orquestração instrumental; abordagem exploratória; formação inicial de professores.



## Introdução

A pergunta de partida deste painel foi: Qual o papel dos artefactos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática?

Partindo do pressuposto de que a Educação Matemática tem ao seu dispor uma panóplia de recursos digitais (artefactos) relevantes para o ensino e aprendizagem de matemática põe-se o duplo problema de como escolher os mais adequados para os propósitos do professor e/ou dos alunos e de como tirar proveito do seu uso para aprender matemática.

Ao preparar este painel houve o cuidado de se procurar diferentes olhares e diferentes perspectivas sobre a pergunta de partida e o duplo problema formulado. Os autores deste texto, membros do painel, foram convidados a pensar neles e ainda nas seguintes questões:

- Que níveis de adoção de artefactos tecnológicos temos de facto nas aulas?
- Como transformar artefactos tecnológicos em ferramentas efetivas no ensino e na aprendizagem de matemática?
- Usar só um artefacto tecnológico ou operacionalizar uma verdadeira orquestração instrumental?
- Como criamos verdadeiras oportunidades de se usar artefactos tecnológicos para promover práticas epistémicas na aprendizagem de Matemática?

Coube a este painel encerrar as atividades do Encontro Matemática com Vida sob a temática “diferentes olhares sobre a Tecnologia”. Era importante, por isso, abrir novas perspectivas para o ensino e a aprendizagem de matemática em que a tecnologia não seja um apêndice, mas possa ser uma ferramenta proveitosa quer para o ensino quer para a aprendizagem dos alunos.

Começamos por esclarecer o que são artefactos digitais. Segundo a Universidade de Cambridge (<https://www.openaccess.cam.ac.uk/ref-support/eligibility-definitions-research-outputs/category-digital-artefacts>) os artefactos digitais são um tipo de produto de investigação que engloba *software* (inclui sistemas operativos, utilitários, programas de aplicação, multimédia, jogos de vídeo, sistemas lógicos); Conteúdo do website (inclui conteúdo textual, visual, ou auditivo como parte da experiência do utilizador; informação factual e análise de dados, ou trabalho fictício, imaginativo e/ou criativo, utilizando imagens, vídeo, áudio); meios digitais ou visuais (inclui filmes, documentários, jogos, animações); e conjunto de dados/ bases de dados.

Os referidos artefactos podem ser ferramentas para apoiar o ensino e a aprendizagem de matemática. Se apenas for isso, adota-se uma perspectiva utilitária e da qual quer alunos quer professores tiram pouco proveito. Utilizar artefactos digitais neste enquadramento não envolve produtivamente os alunos na aprendizagem.

Contudo os artefactos digitais podem ser usados como ferramentas epistémicas, isto é, como ferramentas para pensar e experienciar a matemática de outro modo e para construir conhecimento matemático novo na perspectiva dos alunos. Este desafio é central nos dias de hoje. É possível pensar o ensino e a aprendizagem de matemática criando condições para os artefactos digitais possam ser usados como ferramentas epistémicas. Os participantes deste painel têm reflexão e publicações com este foco: o desafio de pensar nos artefactos digitais como ferramentas epistémicas no ensino e aprendizagem de ciências e matemática (e.g. Lopes & Costa, 2019, 2021).

Para termos vários olhares sobre este assunto convidamos 4 pessoas ligadas à educação matemática. Uns trabalham no ensino superior e outros nos ensinos básico e

secundário. Todos eles investigam na educação matemática com um forte pendor para o uso da tecnologia.

## **1. Níveis de adoção de artefactos, o seu uso como ferramentas e orquestração instrumental**

Antes de nos focarmos no papel dos artefactos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática, é de ponderar qual é o problema do ensino e da aprendizagem de matemática, no sentido de percebermos como os artefactos digitais podem contribuir para o minorar. No início do século passado, em 1908, Sidónio Paes identificava aspetos a modificar nas práticas de ensino de matemática:

*Temos de modificar totalmente os nossos processos de ensino e os nossos critérios de julgamento. A preocupação do professor deve ser criar o gosto do aluno pelo trabalho, desenvolver-lhe o espírito de iniciativa, a curiosidade de descobrir, a originalidade. Dar o abalo inicial e deixar marchar a onda, repetir a impulsão tantas vezes quantas fôr necessário. (Mariano, 1997, p. 45)*

Na atualidade, diríamos que essas mudanças passam por dar mais espaço e relevo ao desenvolvimento de práticas epistémicas por parte dos alunos.

A realidade portuguesa, leva-nos a considerar a coexistência de três níveis de adoção dos artefactos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática, a saber: básico, intermédio e avançado.

No nível básico, há mudança de artefactos, mas manutenção de metodologias de ensino e de aprendizagem, trata-se de uma roupagem moderna para metodologias antigas, não promovendo mudança de práticas. As vantagens são meramente técnicas, estéticas e motivacionais.

No nível intermédio, há mudança de artefactos e introdução de novas metodologias, trata-se no essencial de tarefas de consolidação de conhecimentos e/ou de cariz motivacional. A utilização é pontual, continua a não haver mudança de práticas no sentido de promover práticas epistémicas, não se cria um ambiente educacional novo, moderno e digital.

No nível avançado, há uma seleção criteriosa dos artefactos e mudança de metodologias de ensino e de aprendizagem.

### **1.1 Porque entendemos ser necessária uma seleção criteriosa dos artefactos?**

Constata-se a existência e o constante aparecimento de uma panóplia de artefactos digitais para o ensino e a aprendizagem de matemática. O professor não dispõe de tempo útil para: i) conhecer todas as propostas de artefactos digitais que vão surgindo; ii) aprender a usá-los; e iii) criar/adaptar tarefas para usar adequadamente com os seus alunos. Assim, parece-nos de maior valia, a escolha de alguns artefactos digitais com potencial confirmado pela literatura em educação em ciências e tecnologia, para que o docente possa adquirir domínio técnico dos mesmos, desenvolver conhecimento das suas potencialidades educacionais, desenhar tarefas que os integrem de modo adequado à aprendizagem matemática dos seus alunos e, desejavelmente, que promovam práticas epistémicas (Mishra & Koehler, 2006).

As mudanças de metodologias a que nos referimos, passam por refletir sobre a questão de como transformar artefactos digitais em ferramentas efetivas no ensino e na aprendizagem de matemática.

O grau de uso de utilização de artefactos, digitais ou não, define-os como ferramenta, ferramenta benéfica (*beneficial tool*) ou ferramenta epistémica (Lopes & Costa, 2019). No esquema seguinte (figura 1), sintetizam-se essas definições seguindo (Lopes & Costa, 2019).

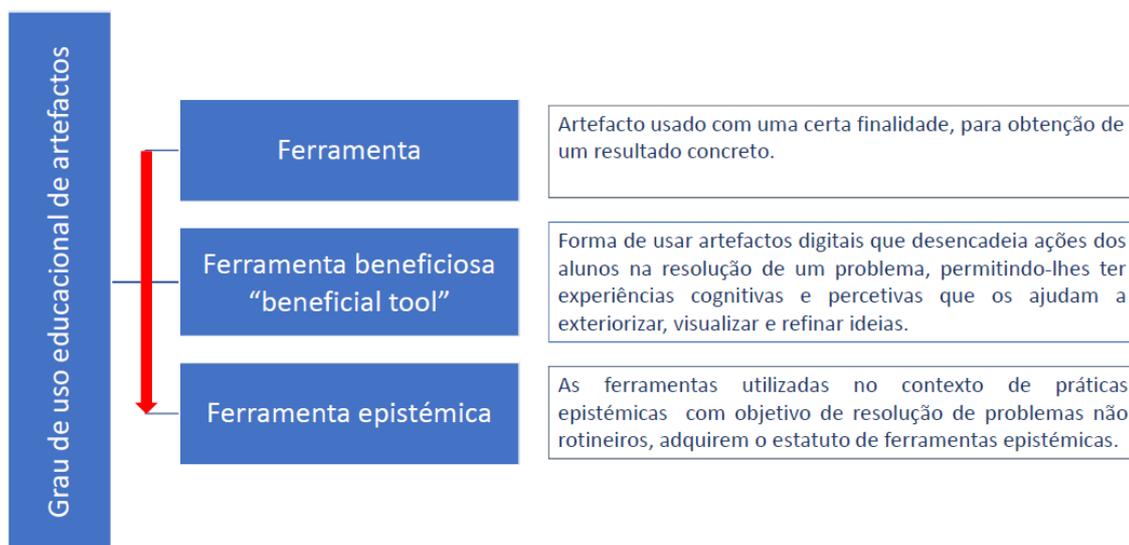


Figura 1. Tipos e graus de ferramentas efetivas no ensino e na aprendizagem de matemática de acordo com (Lopes & Costa, 2019)

## 1.2 Contexto educativo para uso de artefactos como ferramentas epistémicas

Segundo Lopes e Costa (2019), a literatura da especialidade defende que:

- O artefacto digital tem de ter potencialidades de interatividade, entre outras características;
- A tarefa deve ser concebida de modo a propor um desafio estimulante e o artefacto digital ser de grande ajuda para o resolver;
- A ação empreendida com o artefacto digital deve mobilizar os conhecimentos disponíveis dos alunos;
- Toda a ação deve ter um objetivo e dele deve resultar um resultado claramente identificado;
- A utilização do artefacto digital deve permitir um campo de experimentação de ideias e ações, e deve abrir a possibilidade de emergir novas experiências cognitivas e sensoriais.

Ainda que estes itens deem pistas ao professor sobre o modo de utilizar artefactos digitais, é necessária a existência de orquestrações instrumentais (Guin & Trouche, 2002) para o professor estruturar as suas práticas de ensino inserindo artefactos digitais. No esquema seguinte (figura 2) apresentamos os três princípios orientadores para esse objetivo.

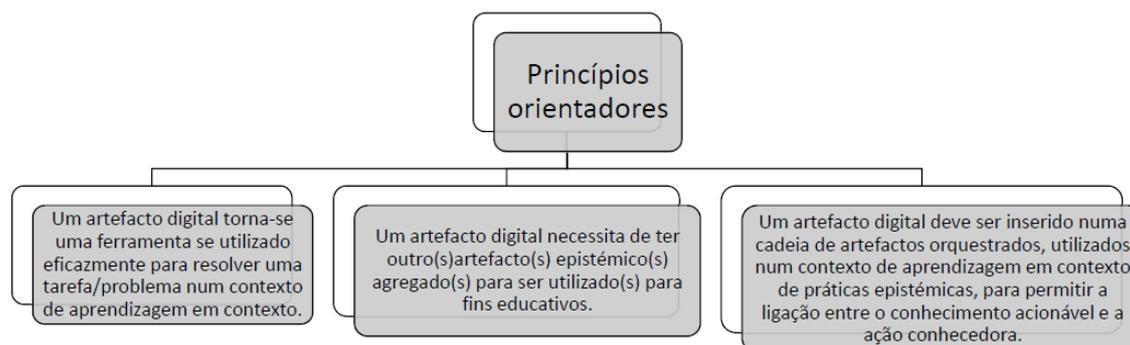


Figura 2. Princípios orientadores de orquestrações instrumentais

### 1.3 Características de uma orquestração instrumental eficaz

Vários estudos têm sido desenvolvidos sobre orquestrações instrumentais (Drijvers et al., 2020). Em Lopes e Costa (2021) são identificadas características importantes de uma orquestração instrumental para influenciar a utilização de artefactos digitais como ferramentas epistémicas. Elencamos em seguida algumas que entendemos poderem ser úteis aos professores:

- A autonomia dos alunos proporcionada pelo professor;
- A mediação do professor relativamente ao tipo de tarefa;
- A forma como os artefactos digitais são articulados;
- A duração da utilização do artefacto digital e o momento da sua inserção na aula;
- Os movimentos epistémicos do professor e ligação entre o uso do artefacto digital e a aprendizagem.

As ideias apresentadas, no sentido de contextualizar o nível avançado, contribuem para a criação de um ambiente educacional rico, com práticas epistémicas que permitem a construção de conhecimento e o envolvimento produtivo dos alunos. A formação contínua de professores tem aqui um espaço fértil para atuação.

A terminar, apresentamos três princípios a ter em consideração na integração de artefactos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática:

1. Usar os artefactos digitais na estrita medida do necessário, procurando minimizar os riscos do digital na vida humana tão bem identificados por Byung-Chul Han (2016).
2. Selecionar artefactos digitais versáteis com os quais o professor se sinta confortável, no sentido de poder integrar artefactos digitais no processo de ensino e de aprendizagem (Mishra & Koehler, 2006; Niess et al., 2009).
3. Orquestrar os diversos artefactos de modo a promover práticas epistémicas dos alunos, efetivando, entre outras, as mudanças defendidas por Paes em 1908.

## 2. Olhares dos professores sobre o uso de artefactos no ensino e aprendizagem de matemática no ensino básico e secundário

Não se pretende, nem seria possível, um elencar exaustivo de artefactos digitais disponíveis para o ensino e aprendizagem de matemática, mas apenas a referência de alguns (de entre os mais comuns) e o atestar da sua pertinência neste contexto.



Se a utilização de artefactos tecnológicos explodiu com os momentos de ensino à distância, constata-se que no regresso ao ensino presencial a sua utilização diminuiu significativamente, eventualmente mais do que o expectável. As instituições de ensino, nomeadamente as escolas, estão a desenvolver esforços para promoverem a adoção e consolidação definitiva da utilização de artefactos digitais, quer em termos de ensino e aprendizagem de matemática, quer em termos de avaliação. A aposta definitiva na dinamização das plataformas digitais de organização e gestão de aprendizagem, as alterações significativas na avaliação em termos de objetivos e processos e a implementação do plano de Capacitação Digital Docente (<https://www.dge.mec.pt/pcdd/pcdd.html>) delineado pelo Ministério da Educação são algumas das principais medidas nesse sentido.

Contudo, os indicadores empíricos dos relatórios de autoavaliação das escolas apontam para uma reduzida aposta nos recursos tecnológicos ou uma aposta feita de forma incipiente. Em termos gerais, os docentes, além das dificuldades logísticas (com equipamentos informáticos e internet), revelam baixas competências digitais. Mais especificamente apontam dificuldades em escolher os artefactos digitais mais adequados para os propósitos do professor e/ou dos alunos, no modo de utilização/aplicação destes artefactos para a consecução dos objetivos e na operacionalização de orquestrações instrumentais.

## **2.1 A importância dos roteiros para uso eficaz dos artefactos no ensino e aprendizagem de matemática**

Neste contexto, a par da necessária formação docente, os professores poderão recorrer a plataformas que disponibilizam recursos testados, ou a roteiros (guiões) que orientam a seleção e aplicação de recursos ou, ainda, desenvolver um trabalho de raiz que envolva a seleção, preparação, aplicação/testagem e refinamento de recursos.

Numa primeira linha, mais imediatista, relembram-se as plataformas, onde os professores podem consultar e obter recursos prontos, testados e validados para aplicação direta ou para adequação às características dos seus alunos (e.g. *Phet interactive simulations* - <https://phet.colorado.edu>, Academia Ciência Viva - <https://academia.cienciaviva.pt>, Casa das Ciências - <https://www.casadasciencias.org>). Uma segunda possibilidade passa por recorrer a roteiros (ou guiões) que constituem instrumentos valiosos para os professores prepararem os seus próprios recursos/ artefactos/ orquestração na medida em que disponibilizam um conjunto de orientações sobre os objetivos, procedimentos, logística associada, aplicação das tarefas e até da atuação do próprio docente. Os roteiros são verdadeiros mapas na construção e aplicação de recursos.

Uma possibilidade mais trabalhosa, mas certamente mais desafiante, é o desenvolvimento próprio de recursos que passa pela seleção dos artefactos, preparação da orquestração dos mesmos, aplicação, avaliação e refinamento dos mesmos em ciclos de trabalho sucessivos.

A título exemplificativo das situações anteriores apresentou-se um roteiro de exploração de um recurso educativo aberto (*open educational resources* - OER). Clements e Pawlowski (2012, p.5) definiram OER como “todos os recursos para fins de aprendizagem, educação e formação que são livremente disponíveis” e como tal “inclui literatura e recursos científicos (de livre acesso para a educação), tecnologias e sistemas (de código aberto para a educação), e conteúdos abertos (materiais de aprendizagem/conteúdos reais), bem como artefactos relacionados (tais como materiais didáticos ou planos de aula)”.

O roteiro resultou de um trabalho prático com o intuito de delinear orientações para a exploração de aplicações móveis para telemóvel, contendo indicações para a seleção da aplicação (procura e seleção de aplicações, exploração e avaliação das

aplicações) elaboração da tarefa para os alunos, realização da tarefa e pós realização da tarefa. O produto resulta de um trabalho de duas iterações em termos de preparação/aplicação, que procura atender às dificuldades apontadas pelos docentes consultados no processo relativas ao uso de aplicações que não dominam e, sobretudo, à seleção da aplicação mais adequada (sugere-se o quadro de avaliação de Harrison e Lee (2018)).

A preparação do ensino e aprendizagem de matemática com recurso a artefactos digitais é importante e conjuntamente obrigatório, mas é um processo exigente sob pena de se tornar inócuo. Impõe formação de qualidade ou, pelo menos, autoformação e investigação, só possíveis com tempo. A tipologia de formação implementada para a generalidade dos docentes oferece apontamentos sobre artefactos digitais, mas raramente com a profundidade e qualidade que seriam necessários para ultrapassarem as suas dificuldades e desenvolverem orquestrações de artefactos capazes e proveitosas. Essas são habitualmente tratadas em cursos de outra natureza em instituições de ensino superior e cujas frequências são pouco incentivadas e valorizadas em termos de carreira docente.

### **3. Aprendizagem ativa de matemática mediada por tecnologias em contextos exploratórios**

O desenvolvimento da competência matemática revela-se fundamental para agirmos, e proactivamente, em prol de um mundo melhor e sustentável. No contexto educativo, esse processo exige a assunção de práticas letivas que favoreçam uma aprendizagem ativa por parte dos estudantes. Uma estruturação dos momentos de aprendizagem consonante com a abordagem exploratória e enriquecida com estratégias didáticas inovadoras pode revelar-se uma possibilidade interessante, não numa lógica radicalmente disruptiva mas, antes, assumindo-se uma racionalidade transformadora. E as tecnologias adequadas, designadamente digitais, criteriosamente selecionadas, podem consubstanciar-se como potentes mediadores de uma sólida educação em matemática.

#### **3.1 Contextualização**

A matemática desempenhou, desde sempre, um papel inquestionável no desenvolvimento da humanidade (Pontes, 2019). Por isso, para além das aprendizagens matemáticas que vão acontecendo ao longo de toda a vida de modo informal, sempre ocupou um terreno relevante nos contextos educativos formais e tem vindo a marcar posição nas mais diversas iniciativas de carácter informal.

Se, inicialmente, o foco era a dimensão do conhecimento matemático, de *per se*, hoje em dia entende-se que o que verdadeiramente importa é a capacidade de aplicar esse conhecimento para a resolução dos mais diversos, holísticos e complexos problemas (Niss, & Højgaard, 2019) o que, por sua vez, exige a mobilização de uma série de atitudes e valores (Ingram et al., 2020). Por outras palavras, o que verdadeiramente importa é o desenvolvimento da competência matemática para fazer face aos problemas que se colocam intra e extra-matemática – no dia-a-dia pessoal, familiar e/ou profissional e/ou no âmbito das mais diversas áreas de conhecimento (Niss, & Højgaard, 2019). A referida descentração não se compadece com a manutenção de um ensino dito 'tradicional', fortemente marcado pela exposição e exemplificação do professor, seguida de rotinização processual por parte dos alunos<sup>6</sup> que, no caso da

---

<sup>6</sup> No âmbito deste texto, usaremos o termo 'aluno(s)' quando nos referimos a contextos educacionais mais tradicionalistas e o termo 'estudantes(s)' quando está em causa o seu envolvimento ativo na aprendizagem. Neste caso, devem assumir-se como verdadeiros estudiosos das próprias temáticas e pela vida fora, de modo continuado.



matemática, era (é!) paradigmático. Antes, para que se possa acompanhar o movimento em causa, as práticas letivas terão de evoluir no sentido do favorecimento de uma aprendizagem genuinamente ativa por parte dos estudantes e em todas as etapas nas quais se organizem os momentos de aprendizagem (Danesi, 2016). A abordagem exploratória pode revelar-se uma possibilidade interessante de estruturação dessas oportunidades de aprendizagem. A sua assunção não se inscreve numa lógica radicalmente disruptiva, até porque as disruptões se revelam, no geral, contraproducentes, principalmente, ao nível do contexto educativo, que necessita de paz e tranquilidade para se efetivar com qualidade. Antes, assume-se uma racionalidade transformadora (Moreira & Schlemmer, 2020). Tais contextos exploratórios saem enriquecidos se aglutinarem propostas didáticas diversificadas e inovadoras, designadamente as subjacentes à lógica da *flipped classroom*; dos laboratórios de aprendizagens; do *case*, *problem*, *inquiry*, *project* ou *challenge based-learning*, dos trilhos e da *gallery walk* (European Schoolnet, 2018; Lai, & Hwang, 2016; Lazonder, & Harmsen, 2016; Masitoh, & Fitriyani, 2018; Pepin, & Kock, 2021; Sunyoung et al., 2016; Vale et al., 2019a e b).

As tecnologias, também elas, têm uma história paralela ao desenvolvimento da humanidade, interpenetrando-se e influenciando-se mutuamente. Este facto aliado à sua presença, sem retorno, no passado, no presente e no futuro das civilizações, justifica, por si, a sua entrada no processo educativo (Aldon, & Trgalová, 2019). Mas os argumentos a favor da entrada das tecnologias, em especial as digitais, nesse contexto não se esgotam na visão instrumental subjacente à necessidade de preparar os estudantes para a sua utilização. As tecnologias adequadas, criteriosamente selecionadas, e afetiva e efetivamente exploradas pelos estudantes, de modo crítico e criativo e enquanto suporte da formulação e/ou resolução de tarefas mais ou menos abertas e desafiantes, podem consubstanciar-se como potentes mediadores de uma sólida educação, designadamente, em matemática (Freiman, & Tassell, 2018). Paralelamente, ainda permitem diluir fronteiras entre os contextos formal, não formal e informal e contrariar a atomização disciplinar.

### 3.2 Abordagem exploratória

Qualquer momento de aprendizagem formal de matemática deve estruturar-se em 4 etapas fundamentais – i) introdução/motivação, ii) *hands-on*, iii) partilha e discussão e iv) síntese (Allwright, 2003). Esquemáticamente, podem ser representadas numa coroa circular dividida em partes geometricamente iguais. A lógica subjacente a essa divisão não é a temporal, a duração de cada um desses momentos, mas, sim, a igual importância que deve ser dedicada a cada uma delas.

Na fase da introdução/motivação, o professor prepara caminho para o que vai acontecer na sessão. Pode começar por fazer uma ligação com o que aconteceu anteriormente e, usando a sua criatividade, deve 'cativar' os estudantes para explorarem a(s) tarefa(s) que irá propor. Nesta etapa, deve especificar em que consiste tal(ais) proposta(s) e como se irá desenrolar a atividade. É ainda o momento de esclarecer quais os materiais didáticos que irão ser usados e como é que o deverão fazer. Antes de passar à etapa seguinte, deve esclarecer, sucintamente, as outras fases nas quais a sessão está estruturada e o tempo previsto para cada uma delas.

O momento seguinte é o de trabalho efetivo dos estudantes. É o período de 'meter a mão na massa' e envolver-se afetiva e ativamente na resolução da(s) tarefa(s), tirando partido das ferramentas que tiver ao seu alcance. Tal resolução pode ser concretizada individualmente ou em grupo, mais ou menos reduzido. O professor deverá circular por entre os estudantes, principalmente, para apoiar a sua atividade, praticar uma avaliação formadora reguladora e selecionar, criteriosamente, as resoluções que importa partilhar com o coletivo turma.

Segue-se o momento de partilha das produções, diversificadas, dos estudantes e da discussão em torno das mesmas.

Finalmente, o professor deve mobilizar toda a turma para sintetizar as principais conclusões a retirar da atividade desenvolvida, atendendo às finalidades e objetivos que se perseguiram e às competências transversais e específicas a desenvolver. Pode, ainda, estipular-se o trabalho a desenvolver extra-aula.

Cada uma destas etapas é propícia à adoção das mais diversas estratégias didáticas. Por essa via, também se promove a equidade na aprendizagem.

### 3.3 Estratégias didáticas inovadoras

De entre a miríade de estratégias didáticas de que o professor se pode socorrer para efetivar a sua prática letiva, designadamente, seguindo uma abordagem exploratória, destacaremos as subjacentes à lógica da *flipped classroom*; dos laboratórios de aprendizagens; do *case*, *problem*, *inquiry*, *project* ou *challenge based-learning*; dos trilhos e da *gallery walk* (European Schoolnet, 2018; Lai, & Hwang, 2016; Lazonder, & Harmsen, 2016; Masitoh, & Fitriyani, 2018; Pepin, & Kock, 2021; Sunyoung et al., 2016; Vale et al., 2019a e b).

A essência da *flipped classroom*, ou 'sala de aula invertida', é privilegiar no espaço e tempo de aula o desenvolvimento de competências de ordem superior, deixando para fora daquele microcosmos a realização de tarefas que o estudante poderá realizar sem a presença do professor (Lai, & Hwang, 2016). Pode envolver, designadamente, a leitura de um texto, uma pesquisa sobre um determinado tópico e a síntese da informação, a recolha sistemática de dados e o seu eventual tratamento, a resolução de uma tarefa com base na qual se iniciará a abordagem, mais formal, de um tópico. Estará em causa, por exemplo, recordar um determinado aspeto, compreender um assunto ou conceito ou mesmo aplicar determinado conhecimento previamente construído. Posteriormente, em aula, o professor deve partir do trabalho desenvolvido fora desse espaço pelos estudantes e privilegiar tarefas que envolvam pensamento de ordem superior como analisar, avaliar, criar.

Toda e qualquer sala de aula pode ser transformada numa 'sala de aula do futuro' ou 'laboratório de aprendizagem', adotando uma expressão muito mais feliz. Há muitos exemplos desses laboratórios por esse país e mundo fora nos quais se investiu imenso dinheiro em mobiliário e equipamentos os mais sofisticados (<https://erte.dge.mec.pt/laboratorios-de-aprendizagem>). No entanto, a essência desses espaços é sua estruturação em zonas que permitam o convívio e complementaridade de tarefas tais como investigar, interagir, colaborar, desenvolver, criar, apresentar. Os estudantes poderão ser distribuídos em grupos e cada um estar a desenvolver um aspeto particular de um projeto conjunto.

De entre as estratégias didáticas que se afiguram mais promissoras e que jogam muito bem quer com a abordagem exploratória quer com os 'laboratórios de aprendizagem', pode-se destacar o *case*, *problem*, *inquiry*, *project* ou *challenge based-learning*, consoante a aprendizagem decorra em torno de casos, problemas, tarefas investigativas, trabalho de projeto ou desafios (Lazonder, & Harmsen, 2016; Masitoh, & Fitriyani, 2018; Pepin, & Kock, 2021; Sunyoung et al., 2016). Apesar da especificidade de cada uma (que não cabe detalhar neste artigo), há um aspeto fundamental em comum – regem-se pelo princípio da aprendizagem ativa do estudante.

Os trilhos é outra estratégia didática que permite a exploração de um dado percurso, dentro ou fora da escola, segundo o olhar de uma ou várias áreas (Vale et al., 2019b). Exige uma preparação cuidada por parte do docente, que deverá trilhá-lo previamente para decidir qual o trajeto a considerar e quais os desafios que deverá colocar aos seus estudantes, tirando partido dos elementos quer naturais quer artificiais



que o integram. Após esse momento *hands-on*, que também permite contrariar o sedentarismo dos estudantes, importa promover a partilha e síntese das experiências vivenciadas, tendo em mente a consecução dos objetivos traçados.

Já a *gallery walk* afigura-se como uma alternativa muito interessante à utilização, por exemplo, do quadro, onde os estudantes, no momento da partilha das resoluções das tarefas que cumpriram, partilham os resultados alcançados (Vale et al., 2019a). Na lógica de uma galeria de arte, os estudantes expõem as suas produções, por exemplo, numa parede da sala e/ou de outro espaço da escola (corredor,...) ou nas respetivas carteiras. E todos podem ter acesso a essas várias produções e deixar o seu comentário alusivo, designadamente, à correção da resolução e à sua apresentação, ou pedir esclarecimentos adicionais. Os comentários e/ou pedidos de esclarecimento serão considerados na discussão que se seguirá.

Importa agora perceber em que momentos da abordagem exploratória há lugar para as tecnologias, designadamente, digitais e que papel podem assumir no âmbito das mais diversas estratégias a adotar, em prol de uma aprendizagem ativa e de qualidade.

### 3.4 As tecnologias na aprendizagem ativa de matemática

As tecnologias, designadamente digitais, podem constituir-se verdadeiros mediadores da aprendizagem dos estudantes (Coelho, & Cabrita, 2017; Faggiano et al., 2017), o que só acontece se forem considerados dois grandes grupos de condições que não se esgotam mas incluem: i) serem criteriosamente selecionadas de entre a panóplia de oferta que prolifera, de forma a garantir-se a sua qualidade e a sua adequação ao público alvo, às competências a desenvolver, aos tópicos a abordar, às opções didáticas, incluindo as avaliativas, a adotar em cada momento de aprendizagem e ii) serem colocadas efetivamente nas mãos dos estudantes, que devem com elas interagir não de modo 'funcional' mas antes verdadeiramente 'intencional'. Só assim se pode contribuir para que, no caso particular da matemática, os estudantes se assumam como genuínos 'fazedores da matemática', vivenciando etapas próximas daquelas que os matemáticos experienciam no âmbito da sua atividade enquanto cientistas.

Portanto, não há um tipo único de tecnologias a considerar no processo de aprendizagem, embora um momento e uma situação particulares possam aconselhar uma ferramenta específica.

Num contexto de *flipped classroom*, para apoiar um desafio lançado pelo professor, o estudante pode: efetivar pesquisas sobre os mais variados assuntos, através de um qualquer motor de busca. Pode ser oportuno rentabilizar *sites* relacionados com a Internet das coisas (IoT) (Gubbi et al., 2013) e organizar e tratar os dados recolhidos através software específico (e.g. Excel); tirar partido da exploração de um vídeo disponível no *youtube* (e.g., da série 'Isto é matemática' – <https://www.youtube.com/user/istoematematica>); realizar uma visita virtual aos mais diversos contextos não formais de aprendizagem (e.g., do Museu MoMath - <https://momath.org/visit/> – e do pavilhão do conhecimento – [https://www.pavconhecimento.pt/media/virtual\\_tour/pt/](https://www.pavconhecimento.pt/media/virtual_tour/pt/)); estudar um determinado por exemplo, através dos materiais produzidos, p.e., pelo *New Council of Teachers of Mathematics (NCTM)* – <https://illuminations.nctm.org/> – ou a *Khan academy* – <https://pt-pt.khanacademy.org/>. Se o trabalho for desenvolvido em grupo, os estudantes, mesmo distantes geograficamente, podem tirar partido de ferramentas de interação social síncronas e assíncronas, encurtando espaços e tempos. O professor pode apoiar esse trabalho também a distância, usando pacotes de acesso gratuito para as escolas (e.g. Microsoft 365).

Já na sala de aula, no momento da introdução/motivação, as tecnologias podem ser usadas, designadamente, para partilha e discussão dos trabalhos desenvolvidos

previamente pelos estudantes; para visionamento de um documentário que contextualize o tópico a abordar; para explicitação do trabalho que se segue ou, eventualmente, para exploração de comandos básicos de algum software a usar no âmbito da aprendizagem a vivenciar.

Na etapa do 'hands-on', se a sala estiver organizada em função das ilhas que integram os 'laboratórios de aprendizagem', cada um desses espaços deve incluir tecnologias que permitam o desenvolvimento das respetivas atividades a realizar, designadamente inscritas na lógica do *case*, *problem*, *inquiry*, *project* ou *challenge based-learning*, podendo conjugar-se com a gamificação (Gurjanow et al., 2019; Masitoh, & Fitriyani, 2018; Pepin, & Kock, 2021). Por exemplo, nas áreas 'investigar', 'desenvolver' e 'criar', devem existir computadores com ligação à *Internet* e de banda larga, podendo os estudantes tirar partido das suas próprias tecnologias móveis (Bano et al., 2018). Tais tecnologias devem permitir aceder aos softwares e aplicações que mais importam à matemática, tais como, calculadoras gráficas, folhas de cálculo, ambientes dinâmicos de geometria dinâmica. Defende-se uma verdadeira lógica *transmedia* (Stansell et al., 2016), por permitir conhecer mais ampla e aprofundadamente determinado ente, porque percecionado segundo múltiplos pontos de vistas, de acordo com as representações que cada tecnologia favorece. Se o professor quiser propor a exploração de trilhos e caso isso não possa acontecer de modo presencial, há cada vez mais possibilidades de o fazer virtualmente. Para isso, mais uma vez, as tecnologias terão de marcar presença para se efetivar essa vivência de aprendizagem. Tais trilhos podem incluir uma tecnologia cada vez mais utilizada – a da Realidade aumentada (Chen et al., 2017). É o caso do projeto EduPark, no parque Infante D. Pedro em Aveiro - <http://edupark.web.ua.pt>

O momento de partilha e discussão também pode girar em torno de lógica da *gallery walk* não com uma concretização física mas sim tirando-se partido de software de controlo e monitorização de diversos postos de computadores, como o Veyon - <https://veyon.io/en/> - que tem a vantagem de ser gratuito e *open source*.

Na sua sequência, a última etapa de síntese pode ser construída no coletivo em ambientes de escrita colaborativa como, p.e., o Google Docs.

### 3.5 Perspetivas

As tecnologias só instigarão uma aprendizagem efetiva se andarem de mãos dadas com a didática. É a essência das expressões Tecnologia Didática ou Didática Tecnológica (Blásquez et al., 1985) que se tentou defender ao longo deste trabalho. E não fazendo a apologia de determinada tecnologia em detrimento de outra, mas sim insistindo na importância e necessidade de uma sua criteriosa seleção, que permita a consecução das finalidades definidas e o desenvolvimento das competências transversais e específicas formuladas, em função dos tópicos a abordar e da forma como se o quer fazer. Tais opções não podem ignorar um princípio básico – as tecnologias, mesmo que as mais adequadas, só se constituirão verdadeiras ferramentas que ancoram a aprendizagem se forem postas nas mãos dos estudantes que com elas terão de interagir intencionalmente. E se toda essa atividade for devidamente partilhada, discutida, refletiva e sistematizada.

Em termos tecnológicos, também não se faz a apologia de uma radical disrupção no contexto educativo, muitas vezes impulsionada pelo vórtice de mudanças tão características de uma modernidade como vez mais 'líquida' (Bauman, 2001). Antes, prefere-se uma racionalidade transformadora nas quais o homem e a máquina encontram os equilíbrios necessários a uma ecologia inteligente (Moreira & Schlemmer, 2020).



#### **4. Integração da tecnologia na formação inicial de professores**

A atual era tecnológica disponibiliza uma grande diversidade de recursos, em particular para contextos educativos (Chai et al., 2017; Lopes & Costa 2019). Esta diversidade de recursos tecnológicos exige competências apropriadas aos professores, para que estes possam integrar a tecnologia em contextos educativos de forma adequada (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2018; Sintema, 2018).

Embora o uso dos recursos tecnológicos na sala de aula tenha aumentado, vários autores (Bray & Tangney, 2017; Lopes & Costa 2019; Sintema, 2018) referem que muitos dos professores não compreendem as suas potencialidades, por forma a desenvolver uma prática educativa com tecnologia que permita aos alunos participar ativamente na construção do seu conhecimento. Apesar disso, por parte dos professores existe alguma resistência quanto à integração de tecnologias no processo de ensino e de aprendizagem de matemática (Bray & Tangney, 2017; Sonmark et al., 2017, p.109).

##### **4.1 Integração da tecnologia para a aprendizagem de conceitos matemáticos**

A literatura refere, também, diversas dificuldades de aprendizagem dos alunos em conceitos de matemática, que podem condicionar outras aprendizagens (Fritz et al., 2019). Neste sentido, o uso adequado dos recursos tecnológicos no processo de ensino e de aprendizagem pode ser uma das principais potencialidades para os alunos de forma dinâmica efetuarem aprendizagens com compreensão (Bray & Tangney, 2017; Tempier, 2016).

Assim, emerge a necessidade de futuros professores aprenderem a perspetivar possíveis formas de integrar e orquestrar recursos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática, desde a sua formação inicial.

Neste sentido é relevante perspetivar o uso dos recursos digitais, bem como as suas potencialidades no processo de ensino e de aprendizagem de matemática. Os Recursos digitais podem ser usados como artefactos, ferramentas e ferramentas epistémicas (Monaghan et al., 2016; Markauskaite & Goodyear, 2017). Muitas são as potencialidades do uso de recursos digitais nos processos de ensino e de aprendizagem. Uma das mais relevantes é o recurso digital ser usado como ferramenta epistémica (Lopes & Costa, 2019). Além desta, pode-se referir também a sua importância na adoção de modelos de prática pedagógica que promovam aprendizagens efetivas (Bray & Tangney, 2017; Clements & Sarama, 2014, p. 327). Mais, acresce ainda como potencialidade, a promoção da autorregulação das aprendizagens (Bray & Tangney, 2017; Verdasca et al., 2020).

A integração da tecnologia no processo de ensino e de aprendizagem tem tido um grande destaque em trabalhos publicados (e.g., Aldon, & Trgalová, 2019; Bray, & Tangney, 2017; Carreira et al., 2016; Chai et al., 2017; Maneira & Gomes, 2017). Apesar disto, a literatura refere a existência de professores que não possuem conhecimentos suficientes por forma a integrarem adequadamente a tecnologia nas suas práticas educativas (e.g., Bray & Tangney, 2017; Lopes & Costa 2019; Sintema, 2018). A aceitação e o uso da tecnologia nas práticas educativas são outros obstáculos (Sonmark et al., 2017).

Isto coloca grandes desafios às Instituições de Ensino Superior, principalmente aos cursos de formação de professores. Neste sentido, à formação inicial de professores, também extensível à formação contínua com os devidos ajustes, colocam-se as seguintes questões:

1. Que conhecimentos os futuros professores terão de construir para poderem integrar a tecnologia no ensino e na aprendizagem de matemática?
2. Que metodologia pode ser usada como suporte teórico na construção ou adequação de artefactos para promover aprendizagens matemáticas?
3. Que características tem de ter um ambiente de aprendizagem na formação inicial de professores que possa ser replicado ou ajustado pelos futuros professores nas suas práticas educativas?

O quadro conceptual *Technology, Pedagogy and Content Knowledge (TPACK)* de Koehler e Mishra (2009) – Conhecimento Tecnológico, Pedagógico e do Conteúdo - é um referente conceituado na comunidade académica, como Maneira e Gomes (2017) referem no seu trabalho. Com base neste, temos os diversos tipos de conhecimento necessários a um (futuro) professor, de qualquer etapa educativa, para poder integrar recursos tecnológicos no processo de ensino e de aprendizagem, em particular artefactos digitais. E deste modo os (futuros) professores podem dar cumprimento aos cinco níveis para a aprendizagem da integração de um dado recurso tecnológico no ensino e na aprendizagem de conteúdos matemáticos (Niess et al., 2009).

É inquestionável que um (futuro) professor, de qualquer etapa educativa necessita de construir ou adequar artefactos que permitam aos alunos a construção de conhecimentos. Neste sentido a engenharia didática para o desenvolvimento (EDD) pode ser uma metodologia a considerar no processo de construção ou adequação de um artefacto (Artigue, 2018; Tempier, 2016). Assim, a EDD é uma metodologia que consiste em ciclos de conceção de um recurso e implementação com professores, efetuando uma comparação das análises *a priori* e *a posteriori*.

#### **4.2 Modelo de prática pedagógica (MPP) da Escola Superior de Educação de Coimbra**

Um modelo de prática pedagógica (MPP), que se implementa na formação de professores da Escola Superior de Educação de Coimbra do Instituto Politécnico de Coimbra e tem sido replicado ou ajustado por futuros professores nas suas práticas educativas, tem como requisitos os princípios da aprendizagem colaborativa e o quadro conceptual TPACK (Martins, 2020). Os elementos estruturantes do MPP são:

1. Conhecimento prévio – recomenda-se que o professor efetue uma pesquisa sobre estudos que abordem a promoção de aprendizagens relativas ao conteúdo a trabalhar com recurso à tecnologia;
2. Transparência do processo – sugere-se que o professor apresente logo no início: a forma como vai mediar as aprendizagens; o modo como as sessões irão decorrer; o que se espera dos alunos quanto ao envolvimento nas tarefas, colaboração entre os colegas do grupo e participação nas discussões coletivas.
3. Aprendizagem colaborativa – esta será incluída nos requisitos de um ambiente de aprendizagem desenhado para criar condições que fomentem interações e potenciem a promoção de aprendizagens significativas. Neste sentido é importante ter em conta o papel do professor e do aluno, a formação dos grupos, o design das tarefas, a escolha do artefacto digital e a forma como a discussão é dinamizada.
4. Espaço – este tem de garantir que os alunos se possam posicionar de forma a poderem trabalhar de forma colaborativa. Este também deverá permitir a mobilidade por parte do professor no acompanhamento de proximidade ao trabalho efetuado pelos alunos agrupados em pares.
5. Gravação das sessões (e.g., software screen recorder) – este registo permite que os alunos possam ficar com uma cópia para poderem refletir sobre o que foi feito em termos de resolução e discussão das tarefas tanto individuais como coletivas. Além



disso, permite ao professor monitorizar a forma como os alunos resolveram as tarefas e também o aperfeiçoamento da sua prática pedagógica.

6. Instrumentos de avaliação – deverão ser criados pelo professor, atendendo aos objetivos de aprendizagem, das características das tarefas e ao contexto de intervenção.

Em síntese, o papel dos artefactos digitais no processo de ensino e de aprendizagem, em particular de conceitos matemáticos, terá de ser de mediador epistémico. Apesar disto, muitos são os aspetos que podem potenciar ou condicionar essa mediação.

## 5. Conclusões

Os membros do painel partiram da pergunta “Qual o papel dos artefactos digitais no ensino e na aprendizagem de matemática?”. Face à panóplia de recursos digitais (artefactos) relevantes para o ensino e aprendizagem de matemática que estão disponíveis para professores e alunos encarou-se o duplo problema de como escolher os mais adequados para os propósitos do professor e/ou dos alunos e de como tirar proveito do seu uso para aprender matemática.

O debate mostrou que há diferentes abordagens teóricas para integrar a tecnologia na educação matemática. Mais importante, mostrou que há formas eficazes de integrar a tecnologia na aprendizagem de matemática. Destaca-se ainda que é possível criar contextos educativos e dispositivos didáticos como os roteiros para uso de artefactos como ferramentas epistémicas e que se for feita uma orquestração instrumental com certas características ela é eficaz para promover aprendizagens de matemática.

## 6. Referências

- Aldon, G., & Trgalová, J. (Eds.). (2019). *Technology in Mathematics Teaching: Selected Papers of the 13th ICTMT Conference* (Vol. 13). Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19741-4>
- Allwright, D. (2003). Exploratory practice: Rethinking practitioner research in language teaching. *Language teaching research*, 7(2), 113-141.
- Artigue, M. (2018). Didactic Engineering in Mathematics Education. In: Lerman S. (eds) *Encyclopedia of Mathematics Education* (pp. 202-206). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77487-9\\_44-5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77487-9_44-5)
- Bano, M., Zowghi, D., Kearney, M., Schuck, S., & Aubusson, P. (2018). Mobile learning for science and mathematics school education: A systematic review of empirical evidence. *Computers & Education*, 121, 30-58.
- Bauman, Z. (2001). *Modernidade Líquida*. Editora Schwarcz-Companhia das Letras.
- Blásquez E. [et al.] (1985). *Didáctica General*. Madrid: Anaya 2.
- Bray, A., & Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research: a systematic review of recent trends. *Computers & Education*, 114, 255 – 273.
- Carreira, S., Jones, K., Amado, N., Jacinto, H., & Nobre, S. (2016). *Youngsters solving mathematical problems with technology*. New York: Springer.
- Chai, C. Tan, L., Deng, F., & Koh, J. (2017). Examining pre-service teachers' design capacities for web-based 21st century new culture of learning. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(2), 129-142. <https://doi.org/10.14742/ajet.3013>
- Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016. In *Innovations in Smart Learning* (pp. 13-18). Springer, Singapore.
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2014). *Learning and teaching early math: The learning trajectories approach*. New York: Routledge.
- Clements, K. I., & Pawlowski, J. M. (2012). User-oriented quality for OER: Understanding teachers' views on re-use, quality, and trust. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(1), 4-14.
- Coelho, A. & Cabrita, I. (2017). Creativity enhanced by technological mediation in exploratory mathematical contexts. In Ó. Mealha et al. (Eds.), *Citizen, Territory and Technologies: Smart Learning Contexts and Practices*. SLERD 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 80 (pp. 19-30), Springer International Publishing, Springer.

- Danesi, M. (2016). *Learning and teaching mathematics in the global village*. Springer International Publishing.
- Drijvers, P., Grauwijn, S., & Trouche, L. (2020). When bibliometrics met mathematics education research: the case of instrumental orchestration. *ZDM Math. Educ.* 52(7), 1455–1469.
- European Schoolnet. (abril de 2018). *Future Classroom Lab*. Acedido a 9 de Março de 2019 em [http://fcl.eun.org/pt\\_PT/toolkit](http://fcl.eun.org/pt_PT/toolkit)
- Faggiano, E., Ferrara, F., & Montone, A. (Eds.). (2017). *Innovation and Technology Enhancing Mathematics Education: Perspectives in the Digital Era*. Springer, Cham.
- Freiman, V., & Tassell, J. L. (Eds.). (2018). *Creativity and technology in mathematics education*. Springer, Cham.
- Fritz, A., Haase, V. G., & Rasanen, P. (2019). *International handbook of mathematical learning difficulties*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645–1660
- Guin, D., & Trouche, L. (2002). Mastering by the teacher of the instrumental genesis in CAS environments: necessity of instrumental orchestrations. *ZDM Math. Educ.* 34(5), 204–211
- Gurjanow, I., Oliveira, M., Zender, J., Santos, P.A., & Ludwig, M. (2019). Shallow and Deep Gamification in Mathematics Trails. In: Gentile M., Allegra M., Söbke H. (eds) *Games and Learning Alliance*. GALA 2018. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 11385. Springer, Cham
- Han, B.-C. (2016). No enxame: Reflexões sobre o digital. Lisboa: Relógio d'Água.
- Harrison, T.R. & Lee, H.S. (2018). iPads in the mathematics classroom: Developing criteria for selecting appropriate learning apps. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, 6(2), 155-172. DOI:10.18404/ijemst.408939
- Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.
- Ingram N., Hatisaru V., Grootenboer P., Beswick K. (2020) Researching the Affective Domain in Mathematics Education. In: Way J., Attard C., Anderson J., Bobis J., McMaster H., Cartwright K. (eds) *Research in Mathematics Education in Australasia 2016–2019*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4269-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4269-5_7)
- Lai, C. L., & Hwang, G. J. (2016). A self-regulated gpped classroom approach to improving students' learning performance in a mathematics course. *Computers & Education*, 100, 126-140.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of educational research*, 86(3), 681-718.
- Lopes, B., & Costa, C. (2019). Digital Resources in Science, Mathematics and Technology Teaching – How to Convert Them into Tools to Learn. In M. Tsitouridou, J. A. Diniz, & T. Mikropoulos (Eds.), *Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education* (pp. 243-255), Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20954-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20954-4_18)
- Lopes, B., & Costa, C. (2021). Converting Digital Resources into Epistemic Tools Enhancing STEM Learning. In A. Reis, J. Barroso, J. B. Lopes, Dr. T. Mikropoulos, Chih-Wen Fan (Eds.), *Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-73988-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-73988-1_1)
- Maneira, S., & Gomes, M. J. (2017). A disseminação do TPACK em eventos científicos em Portugal. In *X Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação-Challenges 2017* (pp. 1469-1487). Universidade do Minho. Centro de Competência TIC (CCTIC UM).
- Mariano, E. G. (Comp.) (1997). *Faculdade de Ciências e Tecnologia de Coimbra Orações de Sapiência Século XX* (pp. 37-50). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Markauskaite, L., & Goodyear, P. (2017). *Epistemic fluency and professional education*. Dordrecht: Springer.
- Martins, N. (2020). *Um modelo de prática pedagógica de articulação entre conteúdo, pedagogia e tecnologia na formação inicial de professores* [Tese de Doutoramento, ECT da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro].
- Masitoh, L. F., & Fitriyani, H. (2018). Improving students' mathematics self-efficacy through problem-based learning. *Malikussaleh Journal of Mathematics Learning (MJML)*, 1(1), 26-30.
- Mishra, P. & Koehler, M.J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: a framework for integrating technology in teacher knowledge. *Teach. Coll. Rec.* 108(6), 1017–1054.



- Monaghan, J., Trouche, L., & Borwein, J. M. (2016). *Tools and mathematics*. Berlin: Springer International Publishing.
- Moreira, J. A., & Schlemmer, E. (2020). Por um novo conceito e paradigma de educação digital online. *Revista UFG*, 20(26).
- Niess, M., Ronau, R., Shafer, K., Driskell, S., Harper, S., Johnston, C., Browning, C., Özgün-Koca, S., & Özgün-Koca, S. A (2009). Mathematics Teacher TPACK Standards and Development Model. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 4-24.
- Niss, M., & Højgaard, T. (2019). Mathematical competencies revisited. *Educational Studies in Mathematics*, 102(1), 9-28.
- Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD] (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. Paris: OECD. Disponível em [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf), acessado a 20 de julho de 2020.
- Pepin, B., & Kock, Z. J. (2021). Students' Use of Resources in a Challenge-Based Learning Context Involving Mathematics. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 1-22.
- Pontes, E. A. S. (2019). A linguagem universal: Matemática suas origens, símbolos e atributos. *Revista Psicologia & Saberes*, 8(12), 181-192.
- Sintema, E. (2018). Evolution of pre-service primary teachers' TPACK-Maths profiles. *Journal of Global Research in Education and Social Science*, 11(4), 166-175.
- Sonmark, K., Révai, N., Gottschalk, F., Deligiannidi, K., & Burns, T. (2017). *Understanding teachers' pedagogical knowledge: report on an international pilot study*. Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/43332ebd-en>
- Stansell, A., Tyler-Wood, T., & Austin, S. (2016). The Development of a Transmedia STEM Curriculum: Implications for Mathematics Education. *Journal of Mathematics Education*, 9(2), 72-80.
- Sunyoung, H. A. N., Rosli, R., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2016). The effect of science, technology, engineering and mathematics (STEM) project based learning (PBL) on students' achievement in four mathematics topics. *Journal of Turkish Science Education*, 13(special), 3.
- Tempier, F. (2016). New perspectives for didactical engineering: an example for the development of a resource for teaching decimal number system. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 19(2), 261-276.
- Vale, I., Barbosa, A. & Cabrita, I. (2019a). Fostering problem solving discussions through a gallery walk. In Shvarts A. (ed.). *Proceedings of the PME and Yandex Russian conference Technology and Psychology for Mathematics Education*. M.: HSE Publishing House (p. 265).
- Vale, I., Barbosa, A. e Cabrita, I. (2019b). Mathematics outside the classroom: examples with pre-service teachers. *Journal Quaderni di Ricerca in Didattica / Mathematics (QRDM)*, 2, special issue 3, 137-142.
- Verdasca, J., Neves, A., Fonseca, H., Fateixa, J., Procópio, M., & Magro-C, T. (2020). *Melhorar aprendizagens em Matemática pelo uso intencional de recursos digitais: O Hypatiamat como intervenção preventiva na CIM do Ave*. Coleção Estudos PNPSE. Lisboa: ME/PNPSE. <https://pnpse.min-educ.pt/estudo4>