



Conhecimento Profissional para ensinar matemática num contexto de educação em STEM

Professional knowledge to teach mathematics in the context of STEM education

Maria Cristina Oliveira da Costa¹

António Manuel Dias Domingos²

Resumo

Este artigo pretende contribuir para a literatura apresentando novos desenvolvimentos sobre o conhecimento e práticas de professores do ensino básico que participaram num programa de desenvolvimento profissional com foco em atividades práticas *hands-on* relacionadas com as STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Este contexto de formação traz desafios acrescidos aos professores para inovarem as suas práticas em aula, nomeadamente as práticas de matemática relacionadas com as STEM. Em particular, procura-se investigar que conhecimento promove o desenvolvimento e a implementação de práticas de matemática interdisciplinares no âmbito do referido contexto. Com uma metodologia qualitativa de natureza interpretativa, e com base em dados recolhidos durante três anos letivos, conclui-se existir conhecimento especializado que é essencial para os professores conseguirem desenvolver e implementar práticas de matemática interdisciplinares em aula, o qual deve ser tido em conta, com vista à eficácia da formação dos professores.

Palavras-chave: Desenvolvimento profissional; Conhecimento para ensinar; STEM; Hands-on; Ensino básico.

Abstract

This paper contributes to the literature by presenting new developments about knowledge to teach and practices of primary teachers who participated in a teachers' professional development programme focused on STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) hands-on practices. This training context brings added challenges for teachers to innovate their practices in class, namely mathematical practices related to STEM. In particular, we research what knowledge promotes the development and implementation of mathematical interdisciplinary practices within the referred context. With a qualitative methodology and an interpretative approach, and based on data collected for three school years, we conclude that there exists specialized knowledge that is crucial for teachers to be able to develop and implement mathematical interdisciplinary practices in class, which must be taken into account, with a view to the effectiveness of teachers professional development programmes.

Keywords: Professional development; Teachers' knowledge, STEM; Hands-on; Primary school.

Introdução

A literatura internacional defende cada vez mais a importância de promover um

Submetido em: 26/10/2020 – **Aceito em:** 10/11/2022 – **Publicado em:** 30/12/2022

¹ Doutor em Ciências da Educação pela Universidade Nova de Lisboa. Professora da Unidade Departamental de Matemática e Física, Smart Cities Research Center, do Instituto Politécnico de Tomar, Portugal. Email: ccosta@ipt.pt. ORCID: 0000-0002-3274-6056.

² Doutor em Ciências da Educação pela Universidade Nova de Lisboa. Professor do Departamento de Ciências Sociais, CICS.NOVA - Interdisciplinary Centre of Social Sciences, da Universidade Nova de Lisboa, Portugal. Email: amdd@fct.unl.pt. ORCID: 0000-0002-5362-5691.

ensino interdisciplinar, chamando a atenção para a necessidade de dar resposta aos desafios cada vez mais complexos e exigentes das sociedades modernas. Neste sentido, têm vindo a aumentar os apelos para a introdução da educação em STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), com o objetivo de desenvolver competências nos estudantes, consideradas essenciais para o século XXI, de forma a contribuir para o desenvolvimento científico e económico das nações (e.g., Baker & Galanti, 2017; European Schoolnet, 2018; Office of the Chief Scientist, 2016). Na verdade, as STEM têm vindo a ganhar cada vez mais protagonismo e já integram o currículo das escolas em vários países (e.g., Kim & Bolger, 2017). Apesar de não haver um consenso relativamente a uma definição de STEM (Baker & Galanti, 2017), neste artigo considera-se uma abordagem integrada que envolve as várias áreas que integram o acrónimo. Neste contexto, devem ser introduzidas atividades práticas *hands-on*, onde os estudantes tenham a oportunidade de manipular os materiais com o objetivo de tirar conclusões sob a orientação do professor, de forma a motivá-los para a aprendizagem nestas áreas (Abrahams, Reiss & Sharpe, 2014).

As recomendações anteriores apresentam novos desafios aos professores, uma vez que implicam a necessidade de estes inovarem as suas práticas em aula. Assim, é fundamental promover o seu desenvolvimento profissional, de modo a que estes adquiram conhecimentos e capacidade para corresponderem aos apelos acima expostos (English, 2017; Fitzallen, 2015; Kim & Bolger, 2017). Neste sentido, é crucial investigar que conhecimento para ensinar é necessário os professores adquirirem, de forma a conseguirem implementar as abordagens propostas com eficácia. Em particular, perceber como munir os professores deste conhecimento no âmbito de programas de desenvolvimento profissional.

Este artigo enquadra-se num projeto mais amplo que envolve um Programa de Desenvolvimento Profissional (PDP) destinado a professores do ensino básico. Este programa foi desenhado de forma a corresponder às necessidades da região e tem por objetivo que os professores consigam desenvolver e implementar atividades práticas *hands-on* em aula que promovam a integração das STEM (Costa et al., 2020). Trata-se de um contexto de formação que traz desafios acrescidos aos professores e formadores, nomeadamente sobre como desenvolver práticas de matemática interdisciplinares que envolvam os conteúdos que integram as STEM. Neste sentido, torna-se fundamental entender quais são os conhecimentos que promovem a implementação deste tipo de práticas em aula. Coloca-se assim a seguinte questão de investigação: qual é o conhecimento que é necessário para os professores conseguirem inovar as suas práticas de matemática, no contexto de um PDP que promove a integração das STEM? Procura-se responder a esta questão com base num estudo empírico que decorreu durante 3 anos letivos no contexto do referido PDP. Uma boa caracterização deste conhecimento não só é essencial para os professores mas também para os formadores que precisam de implementar um PDP de forma a que seja eficaz, i.e., de forma a que os professores adquiram esse conhecimento e que este se reflita nas suas práticas em aula, tal como sugerido por Desimone (2009).

No que diz respeito ao conhecimento profissional dos professores, a literatura apresenta vários trabalhos, sendo um dos mais conhecidos o de Shulman (1986), o qual está

relacionado com o Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (PCK - Pedagogical Content Knowledge). Outros autores desenvolveram o PCK adaptando a áreas como a matemática (Ball, Thames and Phelps, 2008), ciências (Park & Oliver, 2008 Magnusson, Krajcik & Borko, 1999) ou tecnologia (Mishra & Koehler, 2006). No entanto, há uma falha na literatura sobre estudos que caracterizem o conhecimento necessário para implementar as STEM em aula. No caso particular deste artigo, procura-se aprofundar a investigação com foco na inovação de práticas de matemática a partir de atividades práticas *hands-on* de STEM.

Os resultados desta investigação poderão ser importantes para os professores, formadores e para todos os interessados em implementar este tipo de abordagem ou em implementar este contexto de desenvolvimento profissional. Este artigo está organizado da seguinte forma. Na secção seguinte faz-se a revisão da literatura, seguida da metodologia. Depois faz-se a análise e discussão de dados e, finalmente, apresentam-se as conclusões deste estudo.

Revisão da Literatura

Na revisão da literatura começa-se por referir a importância de promover a educação em STEM passando, de seguida, ao desenvolvimento profissional de professores, em particular, sobre o conhecimento necessário para ensinar.

Nos últimos anos têm vindo a aumentar os apelos para a promoção da interdisciplinaridade entre as várias áreas curriculares. De facto, para resolver os problemas da vida real, são necessárias equipas interdisciplinares, em vez de especialistas em apenas uma única disciplina (Baker & Galanti, 2017; Rennie, Venville & Wallace, 2012). Com o objetivo de preparar melhor os estudantes para os desafios científicos e tecnológicos, cada vez mais exigentes, de um mundo em rápida mudança, são necessários conhecimentos na área das STEM (English, 2017; European Schoolnet, 2018; Office of the Chief Scientist, 2016).

A matemática desempenha um papel crucial na educação em STEM, havendo cada vez mais autores que defendem que esta devia ter mais destaque neste contexto (Stohlmann, 2018). No entanto, também é acusada de contribuir para a falta de profissionais em STEM, pelo facto de o seu ensino não ser inspirador (Beswick & Fraser, 2019). Assim, a educação em STEM pode ser uma forma de inovar o ensino da matemática (Fitzallen, 2015), bem como para melhorar o desempenho nesta disciplina (Stohlmann, 2018). Becker e Park (2011) referem que as abordagens que envolvem a integração dos tópicos relacionados com STEM têm efeitos positivos no desempenho dos estudantes, com melhores resultados ao nível do ensino básico.

Os professores desempenham um papel fundamental em qualquer processo de renovação pedagógica, o que torna prioritário promover PDP, de modo a inovar as suas práticas letivas (Costa & Domingos, 2017; Costa et al., 2020). De acordo com Desimone (2009), a eficácia do desenvolvimento profissional deve ser medida através das características que conduzem aos resultados pretendidos, ou seja, aquelas que resultam em alterações no

conhecimento, capacidades e práticas em aula dos professores. Neste sentido, é essencial caracterizar o conhecimento que é necessário para os professores implementarem as abordagens introduzidas no PDP. São vários os autores que têm apresentado trabalhos sobre o conhecimento para ensinar, sendo as contribuições de Shulman (1986), nesta área, cruciais. Este autor propõe distinguir três categorias de Conhecimento de Conteúdo (CK): Conhecimento de Conteúdo da Matéria a Ensinar (SMCK – Subject Matter Content Knowledge), Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (PCK - Pedagogical Content Knowledge) e Conhecimento do Currículo (CuK - Curricular Knowledge).

Do ponto de vista do SMCK, Shulman (1986) refere que o entendimento da matéria a ensinar para um professor inclui “não apenas compreender que algo é assim; para além disso o professor tem que entender por que é assim, quais as bases que o sustentam, e sob que circunstâncias as nossas crenças na sua justificação podem ser enfraquecidas ou mesmo negadas” (p. 9). No que diz respeito ao Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (PCK), Shulman refere “as mais úteis formas de representação das ideias, as mais poderosas analogias, ilustrações, exemplos, explicações, e demonstrações – em resumo, as formas de representar e formular a matéria que a tornam compreensível para os outros” (p. 9). Relativamente ao conhecimento do currículo, ele refere que:

O currículo é representado pelo conjunto de programas designados para o ensino de uma determinada disciplina ou tópico a um dado nível, a variedade de materiais de ensino disponíveis para esses programas, e o conjunto de características que servem simultaneamente de indicações e de contra-indicações para o uso de determinado currículo, ou materiais do programa em determinadas circunstâncias. (Shulman, 1986, p. 10).

A partir do trabalho sobre o conhecimento de conteúdo, desenvolvido por Shulman, Ball et al. (2008) investigaram quais as competências necessárias para ensinar matemática. Neste estudo empírico, os mesmos autores destacam e classificam diferentes tipos de conhecimento, relacionados com o conhecimento da matéria a ensinar e com o conhecimento pedagógico (Figura 1). Relativamente ao conhecimento da matéria a ensinar, Ball distingue Conhecimento de Conteúdo do Senso Comum, Conhecimento de Conteúdo do Horizonte e Conhecimento de Conteúdo Especializado. No que diz respeito ao Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (PCK), estes autores distinguem: Conhecimento do Conteúdo e dos Estudantes; Conhecimento do Conteúdo e do Ensino; e Conhecimento do Conteúdo e do Currículo.

DOI: 10.20396/zet.v30i00.8661697

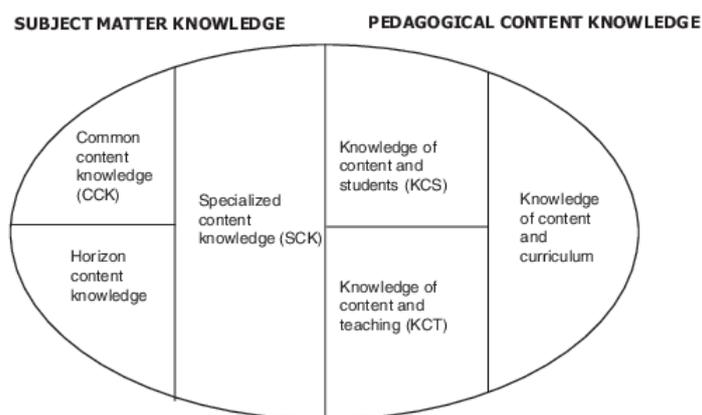


Figura 1 – Domínios de conhecimento para ensinar Matemática

Fonte: Ball, Thames and Phelps (2008, p. 403)

Na área da educação em ciências, com base nos fundamentos de Shulman (1986) e outros autores, Park e Oliver (2008, p. 263) apresentam um resumo dos conhecimentos para ensinar. A Figura 2 representa os seguintes subdomínios: Conhecimento de Conteúdo da Matéria (Subject Matter Knowledge); Conhecimento Pedagógico; Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (PCK); e Conhecimento do Contexto (Context Knowledge). Nesta estrutura, o Conhecimento do Contexto tem a ver com o meio onde a escola está inserida, o que significa que o professor deve ter em conta o contexto, onde o aluno está inserido, para ensinar ciências. Como se pode observar, no esquema da referida figura, o PCK resulta do Conhecimento da matéria a ensinar e do Conhecimento Pedagógico. Por sua vez, o PCK também é influenciado pelo Conhecimento do Contexto.

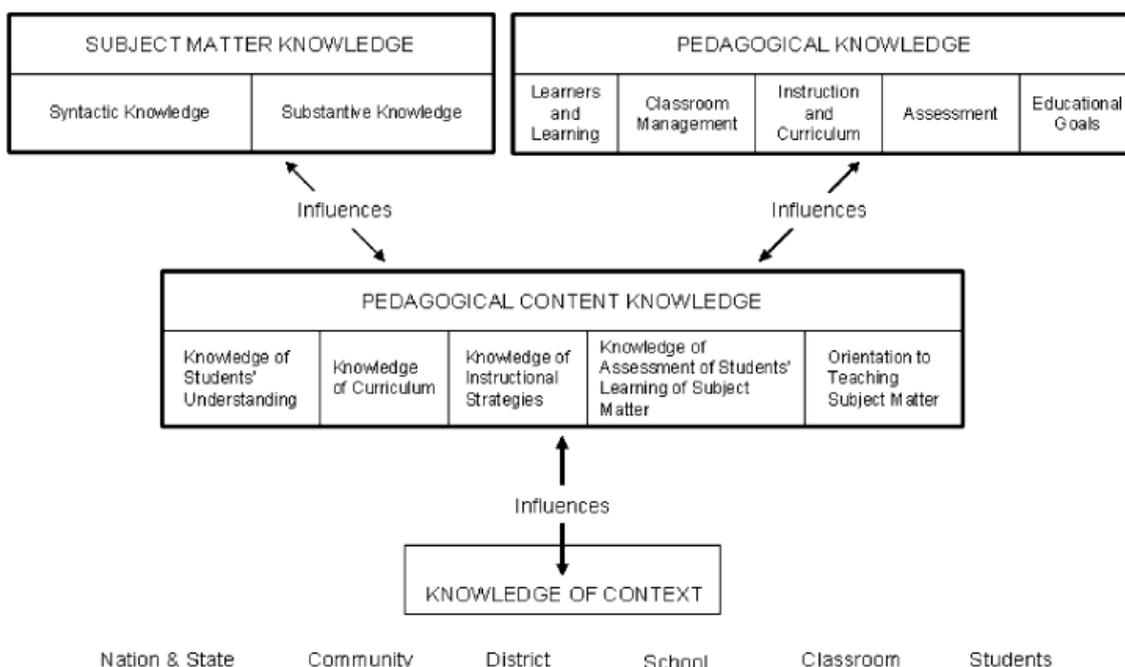


Figura 2 – Bases do conhecimento para ensinar ()

Fonte: Park and Oliver (2008, p. 263)

Na área da educação tecnológica, desenvolvido a partir do PCK de Shulman (1986), Koehler, Mishra e Cain (2013) referem que ensinar depende do conhecimento de vários domínios: conhecimento sobre a aprendizagem e raciocínio dos estudantes, conteúdo do currículo, e o conhecimento crescente da tecnologia. Neste sentido, eles argumentam que a interação entre várias formas de conhecimento - tais como Conhecimento de Conteúdo (CK), Conhecimento Pedagógico (PK) e Conhecimento Tecnológico (TK) - resulta no TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge), o qual defendem como o conhecimento necessário para integrar a Tecnologia com eficácia (Figura 3).

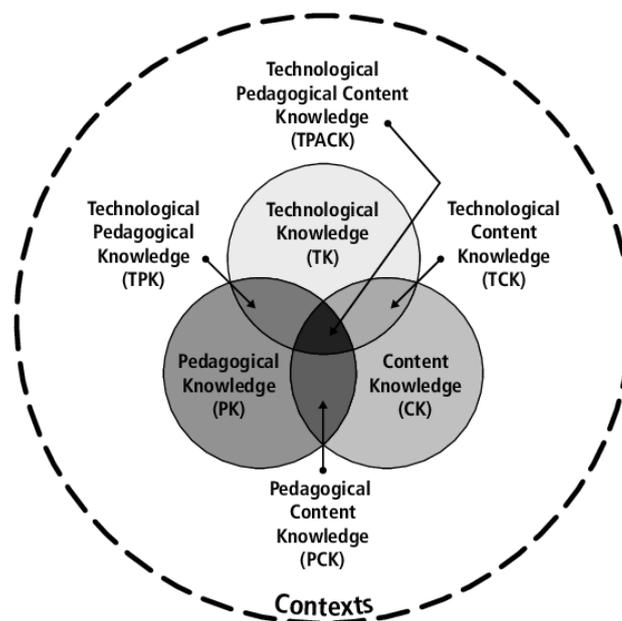


Figura 3 – Domínios de conhecimento tecnológico
Fonte: Koehler, Mishra e Cain (2013, p. 15)

Face ao exposto nesta secção, há um consenso, relativamente à especificidade do conhecimento necessário para ensinar, nomeadamente sobre um conhecimento especializado que é necessário ser adquirido pelos professores para ser transmitido aos alunos. Por outro lado, os professores têm que ter a capacidade de modificar e adaptar esse mesmo conhecimento, de modo a torná-lo acessível aos seus alunos, o que implica a existência do PCK. Por exemplo, o conhecimento de matemática necessário para um engenheiro não é o mesmo conhecimento que é necessário para ensinar matemática. O mesmo raciocínio aplica-se na área da educação em ciências e educação com tecnologia. Na verdade, o PCK:

resulta da interseção do conhecimento e da pedagogia. (...) PCK é a forma como a matéria é transformada para ensinar. Isto ocorre quando o professor interpreta a matéria e encontra diferentes formas de a representar e de a tornar acessível aos alunos. (Mishra et al., 2006, p. 1021).

oferece uma forma de construir pontes entre o mundo académico do conhecimento disciplinar e a prática do mundo do ensino (...) ao identificar uma amálgama de conhecimentos que combinam o conhecimento de conteúdo com o conhecimento dos estudantes e da pedagogia” (Ball, 2008, p. 398).

De acordo com os autores, acima referidos, não só é crucial ter em conta a

importância do Conhecimento de Conteúdo das Matérias a Ensinar, mas também o Conhecimento Pedagógico para tornar essas mesmas matérias acessíveis aos alunos.

Metodologia

Neste artigo usa-se uma metodologia qualitativa de natureza interpretativa, recorrendo a análise documental e observação participante (Cohen, Lawrence & Keith, 2007). Os dados do estudo empírico foram recolhidos durante três anos letivos: 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018, no âmbito de PDP.

Cada PDP tem a duração de um ano letivo completo e consiste em vários workshops com a duração de 3 a 4 horas cada, dinamizados por professores do ensino superior (universitário e politécnico) e investigadores nas áreas da matemática, física, química, biologia, engenharia informática, engenharia eletrotécnica e de computadores, e tecnologias da informação e comunicação. Os formandos são professores do ensino básico que se inscreveram voluntariamente no PDP. No final de cada ano letivo, os professores apresentam um portefólio com uma reflexão crítica sobre a formação em que participaram, as propostas de tarefas para implementar em aula, bem como as evidências das atividades práticas desenvolvidas com os respetivos alunos. No decorrer dos 3 anos letivos, participaram no PDP mais de 90 professores de 15 escolas, com idades compreendidas entre 35 e 61 anos e com mais de 10 anos de serviço.

A recolha de dados resultou essencialmente de observação participante e da análise documental dos portefólios escritos pelos professores, no âmbito da sua participação no PDP. A observação participante decorreu essencialmente nos workshops da formação presencial com os professores (para aprenderem e praticarem o que se espera que implementem em aula) e nas visitas às respetivas aulas (para os apoiar e também para os observar em ação). A triangulação dos dados foi realizada em conjunto com o segundo autor deste artigo, sendo realizadas, para o efeito, várias reuniões para cruzar as perceções de ambos os autores, de modo a atingir o maior rigor possível na interpretação dos dados.

Os participantes neste estudo são professores do 1.º CEB, que participaram no PDP, em pelo menos um dos anos letivos, acima referidos. De forma a exemplificar tarefas práticas *hands-on* relacionadas com as STEM, e dando destaque à matemática, foi selecionada a professora Josefina para mostrar como criou e implementou as tarefas em aula e qual o tipo de conhecimento presente nesta abordagem. Todos os nomes apresentados são fictícios para preservar o anonimato dos participantes.

Análise e discussão dos dados

Nesta secção começamos por discutir o Conhecimento profissional para integrar as STEM, com base na revisão da literatura. De seguida, analisamos os relatórios apresentados pelos professores, no final de cada PDP. Por fim, mostramos como a professora Josefina implementou tarefas práticas *hands-on*, relacionadas com as STEM, dando destaque à matemática.

Conhecimento profissional para integrar as STEM

No âmbito do PDP, acima descrito, um dos principais objetivos é a promoção da educação em STEM, através da implementação de atividades práticas *hands-on*, em aula, pelos professores. Costa e Domingos (2019) dão conta de um estudo empírico sobre o ensino da matemática, num contexto de integração das STEM, no qual concluem que é fundamental implementar um PDP colaborativo que apoie os professores, no desenvolvimento de tarefas interdisciplinares em aula. Nesta investigação, interessa aprofundar qual é o conhecimento necessário para os professores conseguirem implementar esta abordagem com os respetivos alunos, em particular qual é o conhecimento necessário para desenvolver e implementar tarefas de matemática que integrem as STEM. Na revisão da literatura sobre esta temática não foram encontrados estudos que apresentassem um quadro teórico para o conhecimento relacionado com a integração das STEM, o que justifica a necessidade de desenvolver investigação sobre esta temática. Assim, a caracterização do conhecimento para ensinar, que é necessário para desenvolver tarefas de matemática que integrem as STEM, poderá ajudar a compreender como tornar mais eficaz um PDP, em que um dos principais objetivos seja que os professores consigam implementar práticas letivas de matemática interdisciplinares, nomeadamente práticas letivas relacionadas com as STEM.

Neste sentido, procurou-se incorporar as ideias dos autores citados na revisão da literatura, de forma a desenhar um quadro teórico que possa ser usado no âmbito do conhecimento relacionado com as STEM. O acrónimo STEM envolve as seguintes áreas Ciências (S), Tecnologia (T), Engenharia (E) e Matemática (M) (Figura 4).



Figura 4 – As quatro áreas que integram as STEM

Fonte: Elaboração dos próprios autores

A literatura apresenta algumas tentativas de integração destas, sendo as mais comuns as representadas na Figura 5.

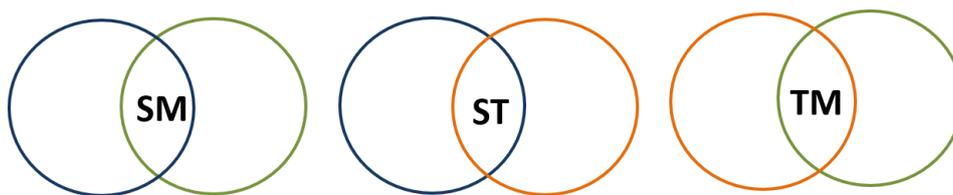


Figura 5 – Alguns cruzamentos das áreas que integram as STEM.

Fonte: Elaboração dos próprios autores

No âmbito do trabalho, que aqui se apresenta, pretendeu-se estender esta integração a todas as áreas relacionadas com as STEM. Além disso, há uma particularidade a destacar que

tem a ver com o facto de esta abordagem surgir num contexto educacional que envolve atividades práticas *hands-on*, relacionadas com as STEM. Deste ponto de vista, os alunos são envolvidos em atividades investigativas, com as quais têm a oportunidade de manipular os materiais, questionar, discutir observações e resultados com os colegas com o objetivo de tirar conclusões.

Em alguns estudos preliminares desenvolvidos por Costa e Domingos (2017; 2018) verificou-se a importância do conhecimento das matérias a ensinar (SMCK), em particular conhecimento robusto sobre ciências, sem o qual os professores não têm motivação nem confiança para desenvolver as novas abordagens propostas. Assim, é de esperar que para implementar tarefas que integrem as STEM sejam necessários conhecimentos da matéria a ensinar (SMCK) sobre Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática. Mas, dado que se pretende uma abordagem integrada, as tarefas devem incluir os vários tópicos, o que significa que eles surgem de forma integrada sem uma fronteira entre os mesmos (Figura 6).

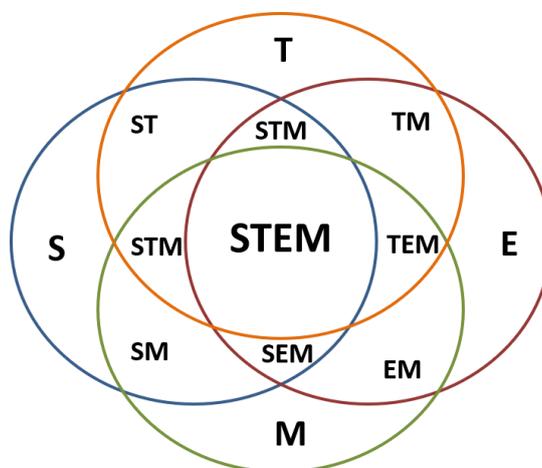


Figura 6 – A integração das STEM.
Fonte: Elaboração dos próprios autores

Mas não basta ter SMCK relacionado com as STEM para implementar as tarefas com eficácia em aula. De acordo com o exposto nas secções anteriores, os professores também têm que ter a capacidade de sistematizar e transformar o SMCK, de forma a que este seja entendido pelos seus alunos. Este é um conhecimento especializado único para ensinar que resulta essencialmente do Conhecimento de Conteúdo e do Conhecimento Pedagógico (Figura 7), dando origem ao Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (PCK - Pedagogical Content Knowledge), tal como introduzido por Shulman (1986).

DOI: 10.20396/zet.v30i00.8661697

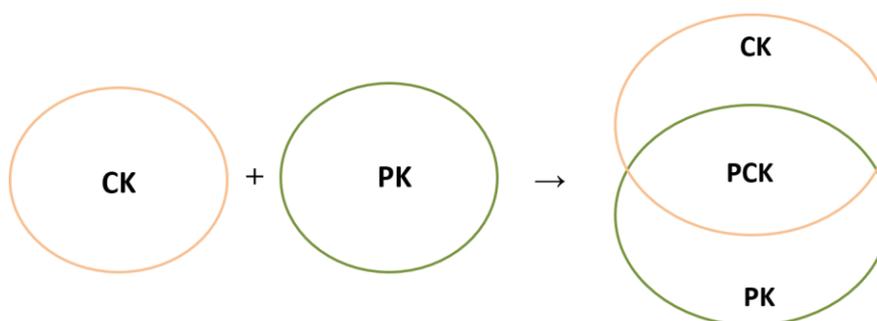


Figura 7 – Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (PCK).

Fonte: Elaboração dos próprios autores

De facto, o PCK tem sido desenvolvido por vários autores, aplicado a diferentes áreas curriculares como por exemplo a matemática (Ball et al., 2008) ou as ciências (e.g., Park & Oliver, 2008), ou ainda relacionado com a introdução da tecnologia (Koehler et al., 2013). Este é considerado um conhecimento especializado para ensinar, o qual é responsável por transformar o conhecimento das matérias a ensinar (SMCK), de forma a que este se torne acessível aos alunos (Ball et al., 2008; Shulman, 1986).

Tendo em conta todas as categorias de conhecimento identificadas nas Figuras 6 e 7, e o PCK, obtêm-se mais categorias (Figura 8).

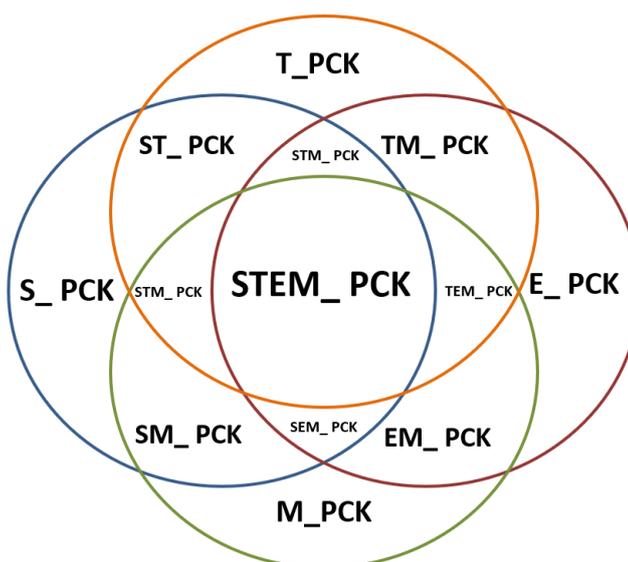


Figura 8 – As várias categorias de Conhecimento necessário para ensinar as STEM.

Fonte: Elaboração dos próprios autores

Tal como referido anteriormente, um dos principais objetivos do programa de desenvolvimento profissional é desenvolver competências nos professores, de forma a que estes consigam implementar atividades práticas *hands-on* relacionadas com as STEM. Desta forma, os professores não só têm que adquirir conhecimentos teóricos sobre as matérias a ensinar (SMCK), mas também têm que ser capazes de realizar as atividades práticas *hands-*

on, relacionadas com essas matérias, de forma a que façam sentido para os alunos. Assim, o modelo aqui proposto terá que ser aprofundado para se perceber se reflete o carácter *hands-on* das tarefas realizadas. Neste sentido, pretende-se caracterizar os conhecimentos dos professores que são necessários de forma a que estes consigam implementar as abordagens propostas, em particular com foco na matemática. Com este objetivo, passamos de seguida à análise dos relatórios dos professores que participaram no PDP.

Análise dos relatórios dos professores

A professora Aúrea participou no PDP no ano letivo 2016/2017, com 62 anos de idade e titular de uma turma do 2.º ano de escolaridade. As suas perceções retratam a sua visão acerca do contexto formativo, as expectativas que tinha relativamente à formação e o impacto da mesma. O seguinte excerto, de um relatório final da professora, mostra as expectativas iniciais que ela tinha sobre a formação que escolheu frequentar, bem como sobre a pertinência da mesma:

Tornava-se fundamental frequentar uma formação que concorresse para cabalmente configurar o modo de operacionalizar conteúdos, porventura envoltos nalguma opacidade, atenuasse ou resolvesse alguns hiatos nos meus conhecimentos teórico científicos e que transversalmente me proporcionasse uma reflexão coletiva sobre temas de Matemática, Ciências e Tecnologia através do encontro com outros professores e com especialistas teórico-práticos, para poder projetar um percurso de ensino/aprendizagem da minha turma, com mais qualidade e potenciador do sucesso dos meus alunos. (Aúrea, Relatório final, junho de 2017)

Face a este excerto do relatório, verifica-se que a professora reconhece ser fundamental frequentar uma formação desta natureza. A justificação para reconhecer este facto tem a ver com “conteúdos (...) envoltos nalguma opacidade”, o que implica a necessidade de atualizar os seus “conhecimentos teórico científicos”. Deste ponto de vista, há referência a um Conhecimento Teórico especializado relacionado com esta temática, o qual aparentemente não é claro para os professores e, por conseguinte, é reconhecida a necessidade de o adquirir. Por outro lado, também é preciso “configurar o modo de operacionalizar conteúdos”, o que justifica a pertinência de um formato teórico-prático, tal como referido pela professora. Desta forma, Aúrea refere-se aos formadores como “especialistas teórico-práticos”, o que reflecte o contexto desta formação onde os conteúdos teóricos são introduzidos enquanto os professores realizam atividades práticas *hands-on*. Por fim, a professora refere que pretende “projetar um percurso de ensino/aprendizagem da minha turma, com mais qualidade e potenciador do sucesso dos meus alunos”. Esta citação tem a ver com o Conhecimento Pedagógico, uma vez que o seu objetivo é adequar os Conhecimentos teórico-práticos de forma a torná-los significativos para os alunos. Analisada esta reflexão da professora, verifica-se não só a referência a um Conhecimento Teórico especializado relacionado com a matéria a ensinar (SMCK), mas também Conhecimento Teórico-prático e, ainda, Conhecimento Pedagógico para transformar os referidos conhecimentos, de forma a fazerem sentido para os alunos, promovendo a sua aprendizagem sobre os tópicos abordados.

A professora Aúrea conclui dizendo que esta formação contribuiu para reforçar os seus conhecimentos e melhorar a sua atuação em aula:

Estou certa que reforcei os conhecimentos e a sensibilidade necessária para poder melhorar a minha atuação na sala de aula, utilizando as variações e modelações que me foram oferecidas e que o contexto da turma exigir, no sentido de poder desenvolver nos alunos a ideia que se aprende fazendo e que os erros são competências intermédias para o sucesso. (Aúrea, Relatório final, junho de 2017)

No excerto anterior, fica patente a aquisição de conhecimento para ensinar, quer ao nível das matérias quer pedagógico. O conhecimento dos alunos também é tido em conta, uma vez que há a preocupação de considerar o contexto da turma, assim como de desenvolver as ideias dos alunos.

Tal como a professora Aúrea, outros professores também referiram a importância deste programa de desenvolvimento profissional e como o mesmo contribuiu para inovar as respetivas práticas letivas. Por exemplo, a professora Marisa, que participou no PDP nos anos letivos 2016/2017 e 2017/2018, destaca uma “intervenção inovadora no ensino experimental das Ciências” que está relacionada com a integração da “teoria e a prática durante a exploração das actividades”:

Tudo o que foi referido anteriormente justifica a pertinência desta acção que conduz os professores a uma intervenção inovadora no ensino experimental das Ciências nos primeiros anos de escolaridade. Importantíssima, já que integra a teoria e a prática durante a exploração das actividades, levando os professores a transferir a aprendizagem do contexto de formação para o contexto de aplicação (sala de aula). (Marisa, 2017)

Na citação acima é mais uma vez referida a integração da “teoria e a prática”, o que dá a entender a importância de haver uma abordagem que as inclua. Além disso, também se verifica que a professora manifesta que esta formação a munuiu de capacidade para aplicar os conhecimentos apreendidos “no contexto de formação para o contexto de (...) sala de aula”. Deste ponto de vista, não só foi adquirido SMCK como também PCK que permitiu implementar estas práticas com os respetivos alunos. Ora estas são características identificadas na literatura que têm a ver com a eficácia de PDP (e.g., Desimone, 2009).

Relativamente aos conhecimentos para ensinar assinalados, há a destacar que ambas as professoras (Aúrea e Marisa) fizeram referência à componente teórico prática e/ou integração da teoria e prática, o que permite identificar um padrão que tem a ver com este contexto formativo específico que tem por objetivo implementar atividades práticas *hands-on*, relacionadas com as STEM. Deste ponto de vista, as professoras reconheceram a necessidade não só de sólidos conhecimentos teóricos sobre as matérias a ensinar, mas também conhecimento “prático” de forma a implementar as tarefas práticas *hands-on* relacionadas com os tópicos abordados. Além disso, o conhecimento pedagógico é colocado em evidência quando referem que adquiriram capacidade para inovar as suas práticas letivas em aula.

Quanto ao conhecimento especializado para ensinar, a Ivete assume que lhe faltavam alguns conhecimentos, por exemplo relacionados com o som que é um tema que integra os conteúdos curriculares do 4.º ano de escolaridade:

Na terceira sessão, sobre os mistérios do som, foram-nos transmitidos alguns conhecimentos e exemplificadas experiências que poderemos fazer em sala de aula pois, como sabemos, aprende-se mais a fazer do que a ouvir dizer. Embora tenhamos que fazer algumas experiências sobre o som com os alunos do 4º ano (ano que leciono), reconheço que poucos conhecimentos tinha. Esta formação possibilitou-me adquirir alguns conhecimentos importantes sobre o som e despertou em mim a curiosidade de querer saber mais a propósito desta temática. (Ivete, 2017)

A professora revela conhecimento do currículo a ensinar, uma vez que sabia que o som e as experiências sobre o som deviam ser implementados no 4.º ano de escolaridade. No entanto, reconhece que não tinha conhecimento especializado suficiente para as realizar, pelo que esta formação contribuiu para colmatar essa falha, não só munindo-a de novos conhecimentos, mas também despertando a vontade de aprender ainda mais. Apesar de o som integrar o currículo do 1.º CEB, verifica-se que a Ivete reconhece falta de conhecimento especializado para trabalhar este tema em aula. Desta forma, faltava Conhecimento Teórico sobre o som e, ainda, conhecimento especializado para implementar as atividades práticas *hands-on* relacionadas com o som. Ainda no que diz respeito ao conhecimento especializado para ensinar relacionado com a eletricidade, a Ivete também revela que adquiriu Conhecimento de Conteúdo sobre este tema:

Na quarta sessão “Mãos na eletricidade” foi primeiramente feita uma abordagem da história dos fenómenos elétricos antes da sua compreensão e das tentativas que foram surgindo ao longo dos anos, com o intuito de explicar o que é a eletricidade. Fizemos algumas experiências, a pares, relacionadas com esta temática. Usei, pela primeira vez, um multímetro. Depois de partilharmos as conclusões das experiências feitas, fizemos ainda a montagem de um circuito elétrico com a associação de pilhas biológicas em paralelo e experimentámos a inclusão de um componente elétrico, fornecido pela formadora. (Ivete, 2017)

No excerto acima, verifica-se aquisição não só de Conhecimento Teórico (CTeo) específico relacionado com a eletricidade, mas também de um Conhecimento Técnico (CTec) relacionado com as atividades práticas *hands-on* realizadas. Por exemplo, a Ivete refere que nunca tinha usado um multímetro. De facto, é destacada a componente “prática” deste modelo formativo que envolve a realização de diversas atividades *hands-on* realizadas pelos próprios professores em ambiente colaborativo, onde são partilhadas as experiências e as conclusões sobre as mesmas.

Ainda relativamente à eletricidade, os alunos da Ivete receberam a equipa de formadores para realizar atividades:

No dia 11 de maio, veio trabalhar com a minha turma a formadora (...), acompanhada por dois colegas, professores de Física no IPT. Fizemos experiências com eletricidade e os alunos gostaram mesmo muito. Trouxeram muitos materiais, tinham imenso jeito para falar com os alunos e para os manter envolvidos nas tarefas. Foi uma manhã bem passada e ficou dada essa parte da matéria. Até a pilha biológica, cuja explicação para

a sua construção vem no manual dos alunos, houve hipótese de construir, com laranjas. (Ivete, 2017)

Mais uma vez surge o conhecimento do currículo (CuK) ao reconhecer que as experiências até constavam da área curricular de Estudo do Meio. Apesar de nos manuais escolares haver sugestões de experiências, como é referido pela professora, ela nunca as tinha realizado, por falta de conhecimento para as implementar.

Para além dos aspetos, acima referidos, a promoção da interdisciplinaridade, no contexto das atividades práticas de ciências, é uma das inovações de práticas letivas apontadas pela professora:

Nem sempre relacionava conteúdos matemáticos com as experiências que os alunos faziam nas aulas, agora já tenho essa preocupação, tal como nos foi sendo exemplificado em todas as sessões desta ação de formação. (Ivete, 2017)

Outra dimensão importante, a destacar nos excertos acima, tem a ver com o conhecimento dos formadores. Entre vários aspetos, os professores reconhecem que estes são especialistas teórico-práticos, o que revela que os formadores são detentores não só de um conhecimento teórico relacionado com a matéria a ensinar mas também de um conhecimento prático relacionado com a componente prática *hands-on* das tarefas implementadas. Ora, estes conhecimentos podem-se enquadrar no SMCK, mas são diferentes. Um teórico pode saber explicar o porquê dos fenómenos, mas não estar habituado a realizar atividades práticas *hands-on*, para os demonstrar. Por outro lado, um técnico de laboratório pode estar habituado a montar várias atividades práticas *hands-on*, mas não ser detentor de todos os conceitos teóricos que normalmente são introduzidos pelo professor doutorado na área em causa. Dada esta distinção, justifica-se que sejam considerados estes dois tipos de conhecimento: Conhecimento Teórico relacionado com as STEM (CTeoSTEM) e Conhecimento Técnico para realizar atividades práticas *hands-on* relacionadas com as STEM (CTecSTEM).

Mas não basta saber os conceitos teóricos e como implementar atividades práticas. Por exemplo, é inquestionável que alguns cientistas detêm estes dois tipos de conhecimentos para desenvolverem experiências sofisticadas em laboratório, mas isso não significa que tenham a capacidade para as tornar acessíveis, de forma a promoverem a aprendizagem dos estudantes sobre as mesmas. É exatamente aqui que entra o conhecimento pedagógico para ensinar. De facto, um professor, para além de ter conhecimentos específicos sobre a matéria a ensinar, precisa de os saber transformar, de modo a torná-los adequados aos seus alunos. Mas, novamente no caso em estudo, também há um conhecimento pedagógico específico para implementar as atividades práticas *hands-on*, relacionadas com as STEM. Dentro deste conhecimento, é preciso saber adaptar os conhecimentos teóricos, de forma a que sejam acessíveis aos alunos. Mas, não menos importante, é preciso saber implementar as atividades práticas, para que sejam significativas para os alunos. Neste sentido, os professores devem ser capazes de conduzir as tarefas de forma a promover a reflexão e a aprendizagem sobre as mesmas, nomeadamente aplicando as estratégias recomendadas para a implementação das mesmas. Desta forma, faz sentido introduzir o conhecimento pedagógico específico para tornar os conceitos teóricos sobre as áreas relacionadas com as STEM adequados e acessíveis

aos alunos (CPTeoSTEM – Conhecimento Pedagógico Teórico sobre STEM), assim como conhecimento pedagógico específico para introduzir as atividades práticas *hands-on*, de forma a serem acessíveis aos alunos e promoverem a aprendizagem dos mesmos sobre os temas abordados (CPTecSTEM – Conhecimento Pedagógico Técnico sobre STEM). Ora, estas são dimensões muito específicas deste contexto formativo que não estão apresentadas nos trabalhos de Lee Shulman ou Debora Ball, o que justifica a necessidade de as introduzir nesta investigação, tal como se mostra na Tabela .

Tabela 1: Dimensões de conhecimento para implementar atividades práticas de ciências.

SMCK		PCK	
CTeoSTEM	CTecSTEM	CPTeoSTEM	CPTecSTEM

Fonte: Elaboração dos próprios autores

A Tabela enquadra as novas dimensões, relativas aos conhecimentos específicos para implementar atividades práticas de STEM, nos conhecimentos propostos pelos autores anteriormente referidos (Ball et al., 2008; Shulman, 1986), respeitando as siglas internacionais por eles propostas (SMCK e PCK).

Tarefas implementadas pela professora Josefina

A professora Josefina participou na formação no ano letivo 2016/2017 e escolheu a eletricidade para trabalhar em aula com os seus alunos, sabendo que poderia contar com a ajuda dos formadores para a apoiar nas tarefas a implementar. A eletricidade foi introduzida, pela professora, chamando a atenção dos estudantes para o desenvolvimento sustentável, nomeadamente sensibilizando-os para a importância da reciclagem e da preservação do ambiente. Neste sentido, pediu aos alunos para trazerem pilhas velhas e baterias de telemóveis que tivessem em casa e que já não estivessem a ser usadas. Na aula, depois de recolhidas as pilhas e baterias, a professora pediu para os alunos as organizarem, de acordo com os seus tamanhos e modelos. Desta forma, os alunos procuraram encontrar padrões, com o material recolhido, para assim o poderem organizar (Figura 9).

Com os dados registrados na tabela, indicada na Figura 10, a professora incentivou os alunos a trabalhar a matemática, realizando gráficos de barras e diagramas de caule e folhas, entre outras tarefas. As tarefas realizadas pelos alunos envolveram tópicos de várias áreas curriculares tais como: Estudo do Meio, Expressões Artísticas e Fisico-Motoras e Matemática (CuK, CTeoSTEM e CTecSTEM).

Numa outra sessão, foi usado o multímetro para medir a corrente de todas as pilhas, separando as que não tinham carga das que ainda tinham. Após uma breve explicação sobre como seria possível medir e quais as medidas utilizadas (CTeoSTEM) tais como o volt (V) ou ampere (A), a professora entregou um multímetro a cada grupo de 3 a 4 alunos. Após explicar e exemplificar como este funciona (CTecSTEM), pediu para medirem a diferença de potencial das pilhas, em volts (Figura 11).

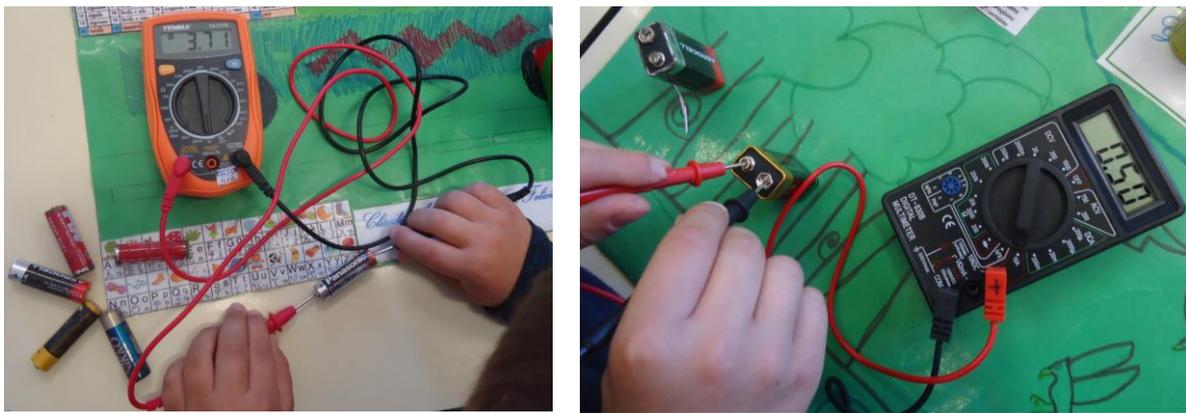


Figura 11 – Medição da diferença de potencial das pilhas.

Fonte: Arquivo dos próprios autores

Foi explicado que as pilhas que não tinham carga iam para o pilhão. As que ainda tinham foram usadas para construir circuitos para acender lâmpadas, colocar a funcionar motores, relógios, termómetros, brinquedos, etc (Figura 12).

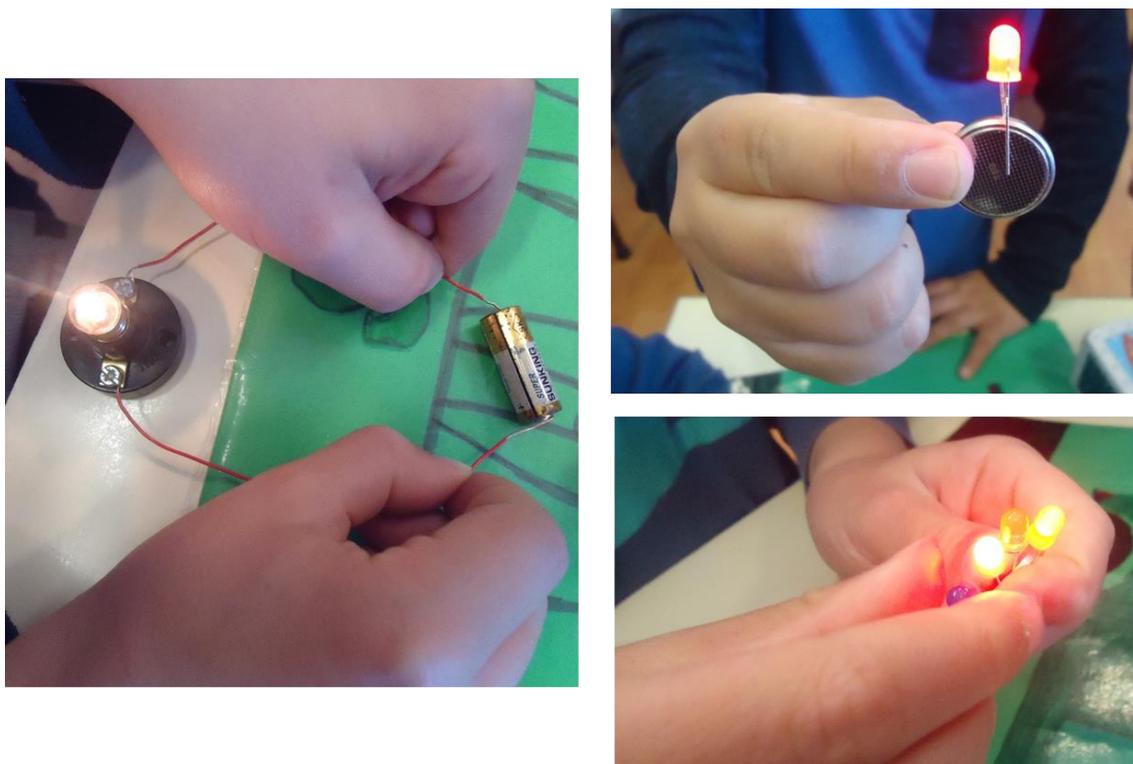


Figura 12 – Acender lâmpadas com as pilhas velhas.

Fonte: Arquivo dos próprios autores

Numa outra sessão a professora começou por explicar que as pilhas usadas na sessão anterior eram chamadas de pilhas químicas e que havia outro tipo de pilhas, tais como pilhas biológicas que podem ser construídas a partir de frutas ou legumes (eletrólitos) e com dois tipos de metais diferentes (elétrodos), o que revela CTeoSTEM. De seguida, ajudou os alunos a construírem pilhas biológicas (por exemplo com fruta, com um prego e um fio de cobre) e pediu para os alunos registarem algumas medidas das várias pilhas que tinham construído (Figura 13 e 14), o que revela CTecSTEM. Os resultados destas medidas foram registados no quadro para todos os alunos poderem observar.



Pilha Biológica Legumes	Moeda de $\frac{1}{2}$ € a distância de...	Medida em Volt	Intensidade da corrente (ampere)	Potência máxima Watt
censoura	2 cm	0,89V	229 Ma	203,81W
batata	2 cm	0,95V	559 Ma	531,05W
batata doce	2 cm	0,79V	1106 Ma	873,74 W
chervoria	2 cm			
cogumelo	2,5 cm	0,65V	274 Ma	779,7W
chuchu	2 cm	0,72V	724 Ma	527,28W
cebola	2,5 cm	0,83V	339 Ma	275,56W
cabeca de nobre	2 cm	0,72V	192 Ma	738,24W

Figura 13 – Medição da d.p. e da intensidade de corrente de pilhas biológicas. Cálculo da potência máxima fornecida.

Fonte: Arquivo dos próprios autores

Pilha Biológica Frutas	Moeda de $0,50\text{€}$ 1,00€ à distância de...	Medida em Volt	Intensidade da corrente (ampere)	Potência máxima Watt
limão	2 cm	0,83 V	133 μa	110,39 W
pera	2 cm	0,98 V	266 μa	260,68 W
Kivi	2 cm	0,75 V	175 μa	131,25 W
laranja	2 cm	0,92 V	328 μa	308,23 W
maçã	2 cm	0,90 V	130 μa	170 W
laranja	2,7 cm	0,78 V	125 μa	97,5 W
laranja	3 cm (cor)	0,94 V	328 μa	308,82 W
tangerina	7,5 cm (cor)	0,92 V	173 μa	159,16

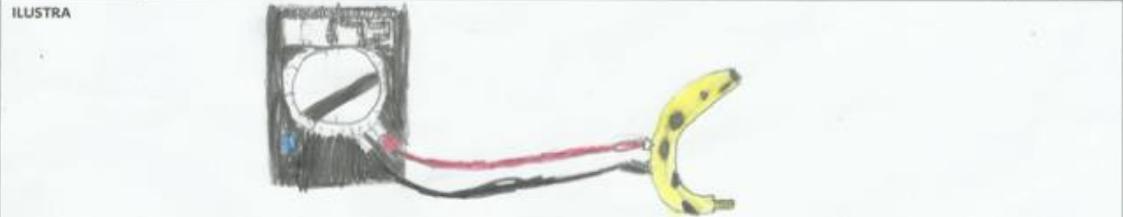


Figura 14 – Medição da d.p. e da intensidade de corrente de pilhas biológicas. Cálculo da potência máxima
Fonte: Arquivo dos próprios autores

Todas estas sessões foram acompanhadas de muito questionamento no sentido de conduzir as tarefas com vista à aprendizagem dos alunos (CPteoSTEM e CPtecSTEM), tal como se exemplifica no excerto seguinte:

- Professora: Qual é a diferença de potencial da laranja?
 Aluno: É 0,51 volts.
 Professora: Quanto precisa a lâmpada para acender-se? [A professora pede para procurarem a informação na lâmpada]
 Aluno: Precisa de 1,5 volts.
 Professora: Acham que vai ser possível acender a lâmpada com uma laranja?
 Aluno: Não. A lâmpada precisa de 1,5 volts. Olha! É quase o triplo!
 Professora: Então quantas laranjas precisam para obter 1,5 volts?
 Aluno: São precisas três.

A professora continuou o questionamento, procurando desenvolver tarefas investigativas de forma a estes poderem tirar conclusões:

- Professora: E se partirem a laranja ao meio? Acham que a d.p. é a mesma para cada uma das metades?
 Aluno: Claro que não! Deve ser metade.
 Professora: Então cortem a laranja ao meio e meçam a d.p. de cada uma das metades!
 Aluno: Ah!!! Deu quase igual à da laranja inteira! Não pode ser....
 Professora: Cortem as metades ao meio e voltem a medir? O que acham que vai acontecer?
 Aluno: Se calhar vai dar o mesmo ... pois é! O tamanho da fruta não conta!
 Professora: Afinal, são precisas três laranjas para acender a lâmpada?

Aluno: Não. Devem bastar três bocados ... Vou experimentar! ...Acendeu!!!

No final, a partir dos vários registos que se encontravam no quadro, a professora colocou várias questões. Por exemplo:

Professora: Qual a fruta ou legume com maior d.p.? E com menor d.p.?

Alunos: É o tomate. É a maçã.

Para além de trabalhar a matemática, a professora foi capaz de introduzir pilhas biológicas e de ensinar os seus alunos a medir a diferença de potencial e a intensidade da corrente, assim como a construir circuitos elétricos. De facto, no decorrer das várias sessões, dedicadas ao tema, a professora conseguiu trabalhar a matemática a partir de atividades práticas *hands-on*, relacionadas com a eletricidade, no contexto da integração das STEM. Desta forma, a Josefina desenvolveu tarefas, com base em conceitos e procedimentos de matemática e ciências, enquanto incorporava a metodologia de design da engenharia e usando tecnologia adequada (Shaughnessy, 2013). A Tabela apresenta os conteúdos relacionados com as STEM que foram trabalhados em aula, de acordo com o currículo de matemática em vigor.

Tabela 2: Conteúdos das tarefas relacionadas com as STEM

Ciências	Tecnologia	Engenharia	Matemática
Eletricidade	Telemóveis	Planear, projetar e construir circuitos elétricos.	Geometria e Medida na organização das pilhas de acordo os seus tamanhos, modelos e padrões.
	Brinquedos		Medir a diferença de potencial e a intensidade em volt e ampere.
	Multímetros		Números e Operações quando os alunos organizaram e contaram as pilhas.
	Lâmpadas		Análise e Tratamento de Dados a partir das contagens e das medições realizadas.
	...		

Fonte: Elaboração dos próprios autores

Face ao exposto, a professora Josefina adquiriu Conhecimento de Conteúdo específico de forma a conseguir introduzir tarefas práticas *hands-on* relacionadas com a eletricidade e trabalhando a matemática. Na verdade, a professora foi capaz de implementar tarefas que integravam as STEM, o que significa que adquiriu conhecimento interdisciplinar relacionado com as STEM. Desta forma, verifica-se que colocou em ação o Conhecimento de Conteúdo específico para integrar as STEM (CTeoSTEM e CTecSTEM). Por outro lado, a Josefina conseguiu adaptar as tarefas de forma a estas serem adequadas aos respetivos alunos, o que revela Conhecimento de Conteúdo Pedagógico (CPTeoSTEM e CPTecSTEM).

Considerações finais

Neste artigo investigou-se qual é o conhecimento necessário, para os professores conseguirem inovar as suas práticas de matemática, no contexto de um PDP que promove a integração das STEM. Apesar de os conhecimentos caracterizados por outros autores, tais

como conhecimento do currículo, ou conhecimento dos alunos, entre outros, também estarem presentes, o objetivo desta investigação não foi discutir os conhecimentos anteriores, mas o de caracterizar os conhecimentos que se destacavam neste contexto de educação em STEM.

Com base num estudo empírico, que decorreu durante 3 anos letivos, no âmbito de um PDP que envolveu a implementação de atividades práticas *hands-on*, relacionadas com as STEM, verificou-se a existência de novas categorias de conhecimento que não se encontravam caracterizadas na literatura, tais como conhecimento teórico e conhecimento técnico (Tabela 1). Assim, destaca-se o Conhecimento Teórico relacionado com as STEM (CTeoSTEM) e o Conhecimento Técnico para realizar atividades práticas *hands-on*, relacionadas com as STEM (CTecSTEM). Mas é preciso que este conhecimento seja transmitido de forma a que faça sentido para os alunos, o que exige conhecimento pedagógico que, por sua vez, conduz ao CPTeoSTEM e CPTecSTEM.

A partir de testemunhos apresentados nos relatórios dos professores, ficou patente que o modelo de formação do PDP era adequado e inovador, sendo referido que o mesmo reforçou os seus conhecimentos, quer das matérias a ensinar quer pedagógicos, o que irá refletir-se nas suas aulas, melhorando as suas práticas de ensino. Ora estas são características que apontam para a eficácia do PDP, tal como sugerido por Desimone (2009).

No caso particular da professora Josefina, verificou-se que esta mostrou CTeoSTEM e CTecSTEM para desenvolver e implementar as atividades interdisciplinares de matemática apresentadas na secção anterior. Além disso, ela teve a capacidade de introduzir as tarefas, de forma a estas terem significado para os alunos, promovendo a sua aprendizagem sobre os conteúdos apresentados, o que revela que também adquiriu CPTeoSTEM e CPTecSTEM.

Assim, num contexto formativo relacionado com a educação em STEM, conclui-se existir conhecimento especializado que é essencial para os professores conseguirem desenvolver e implementar práticas de matemática interdisciplinares em aula, o qual deve ser tido em conta, com vista à eficácia da formação dos professores.

Agradecimentos:

Este trabalho é apoiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, I. P., no contexto do projeto PTDC/CED-EDG/32422/2017.

Referências

- Abrahams, I., Reiss, M. J., & Sharpe, R. (2014). The impact of the getting practical: Improving practical work in science continuing professional development programme on teachers' ideas and practice in science practical work. *Research in Science & Technological Education*, 32(3), 263-280.
- Baker, C K, Galanti, T M. (2017). Integrating STEM in elementary classrooms using model-eliciting activities: responsive professional development for mathematics coaches and teachers. *International Journal of STEM Education*. 4(1), 1-15.

- Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12(5 & 6), 23-37.
- Beswick, K. & Fraser, S. (2019). Developing mathematics teachers' 21st century competence for teaching in STEM contexts. *ZDM Mathematics Education*, 51, 955–965.
- Ball, D. L., Thames, M. H., & Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching what makes it special? *Journal of teacher education*, 59(5), 389-407.
- Cohen, L., Lawrence, M., & Keith, M. (2007). *Research Methods in Education*. 6th Edition. Taylor and Francis Group.
- Costa, M. C., & Domingos, A. (2017). Innovating teachers' practices: potentiate the teaching of mathematics through experimental activities. In T. Dooley & G. Gueudet (Eds.), *Proceedings of the Tenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 10, February 1-5, 2017, pp. 2828-2835)*. Dublin, Ireland: DCU Institute of Education and ERME.
- Costa, M. C., & Domingos, A. (2018). Qual o conhecimento para implementar o ensino experimental das ciências? [What knowledge is necessary to implement hands-on science experiments]. *Revista de Educação, Ciências e Matemática [Journal of Education, Science and Mathematics]*, 8(1), 51-72.
- Costa, M. C., & Domingos, A. (2019). Promoting mathematics teaching in the framework of STEM integration. In CERME 11 (*Eleven Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, February 6-10). Utrecht, Netherlands. Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education, 4749- 4756.
- Costa, M. C., Domingos, A., & Teodoro, V. (2020). Promoting integrated STEM tasks in the framework of teachers' professional development in Portugal. In J. Anderson & Y. Li (Eds.), *Integrated Approaches to STEM Education. Advances in STEM Education*. (pp. 511-532). Springer, Cham. ISBN: 978-3-030-52229-2, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-52229-2_27
- Desimone, L. M. (2009). Improving impact studies of teachers' professional development: Toward better conceptualizations and measures. *Educational Researcher*, 38(3), 181-199.
- English, L. D. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(1), 5-24.
- European Schoolnet (2018). Science, Technology, Engineering and Mathematics Education Policies in Europe. Scientix Observatory report. October 2018, European Schoolnet, Brussels.
- Fitzallen, N. (2015). STEM Education: What does mathematics have to offer? In M. Marshman (Eds.), *Mathematics Education in the Margins*. Proceedings of the 38th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia, Sunshine Coast, pp. 237-244.
- Kim, D., & Bolger, M. (2017). Analysis of Korean elementary pre-service teachers' changing attitudes about integrated STEAM pedagogy through developing lesson plans. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(4), 587-605.

- Magnusson, S., Krajcik, J., Borke, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Cess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Springer, Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in science Education*, 38(3), 261-284.
- Shaughnessy, J. M. (2013). Mathematics in a STEM context. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 18(6), 324-324.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.
- Stohlmann, M. (2018). A vision for future work to focus on the “M” in integrated STEM. *School Science and Mathematics*, 118(7), 310-319. DOI: <https://doi.org/10.1111/ssm.12301>.