



Trilhando caminhos interdisciplinares: Conhecimento profissional dos professores sobre a articulação disciplinar

Forging interdisciplinary paths: Teachers' professional knowledge on disciplinary articulation

Tânia Coelho¹, Helena Rocha²

¹Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, ta.coelho@campus.fct.unl.pt

²CICS.NOVA, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, hcr@fct.unl.pt

Resumo. *Os desafios da integração disciplinar na prática docente, especialmente na implementação de tarefas que promovam abordagens interdisciplinares, destacam a importância do conhecimento profissional dos professores nesse processo. De abordagem naturalista este estudo tem como objetivo caracterizar o conhecimento profissional de uma professora de Física quando adota uma abordagem interdisciplinar com recurso à tecnologia. Os resultados do estudo revelaram que a professora mobiliza diferentes conhecimentos, evidenciando um conhecimento diferenciado da aplicação matemática mais adequada para ensinar um determinado conteúdo, e conhecimento de como as estratégias pedagógicas podem ser auxiliadas através de aplicações distintas com recurso à tecnologia.*

Abstract. *The challenges of disciplinary integration in teaching practice, especially in the implementation of tasks that promote interdisciplinary approaches, highlight the importance of teachers' professional knowledge in this process. Using a naturalistic approach, this study aims to characterize the professional knowledge of a physics teacher when adopting an interdisciplinary approach using technology. The results of the research revealed that the teacher mobilizes different types of knowledge, showing a differentiated knowledge of the most appropriate mathematical application to teach a given piece of content, and knowledge of how pedagogical strategies can be aided through different applications using technology.*

Palavras-chave: conhecimento profissional; interdisciplinaridade; tecnologia; matemática; física.

Keywords: professional knowledge; interdisciplinarity; technology; mathematics; physics.

Introdução

A interação entre Física e Matemática é essencial no desenvolvimento científico, influenciando a estruturação do conhecimento físico (Kjeldsen & Lützen, 2015; Palmgren & Rasa, 2024). Os professores enfrentam desafios ao integrar essas disciplinas, mas a sua prática oferece benefícios significativos (An, 2017; Rocha, 2019) a ter em consideração.

O conhecimento dos professores é fundamental, requerendo formação e colaboração entre pares (Greef et al., 2017).

A Física, como disciplina empírica, é inseparável da descrição matemática nos seus fundamentos (Kjeldsen & Lützen, 2015). A Matemática desempenha um papel crucial na estruturação do conhecimento físico, moldando a conceção das teorias físicas (Palmgren & Rasa, 2024). Ou seja, adaptando os construtos matemáticos para assim se atender às necessidades específicas de uma teoria e ao seu contexto físico. A conexão entre Física e Matemática é histórica (Galili, 2018), exigindo dos estudantes compreensão dos conceitos, princípios e estrutura física, bem como a aplicação de métodos científicos, incluindo elementos matemáticos (Pospiech, 2019). O mesmo autor reitera que os professores enfrentam o desafio de equilibrar estes aspetos para garantir a compreensão adequada dos alunos, superando as dificuldades conceptuais e de integração entre Física e Matemática que possam sentir.

Nesse sentido a investigação tem explorado abordagens interdisciplinares entre ciência e matemática, destacando os desafios e benefícios da sua integração (Aguirre-Munõz et al., 2022; McHugh et al., 2018). Embora desafiadora, a interdisciplinaridade permite um maior envolvimento dos alunos, promove o uso de ferramentas para resolução de problemas e facilita uma aprendizagem mais significativa (Aguirre-Munõz et al., 2022; An, 2017; McHugh et al., 2018). Entre os principais desafios a ultrapassar, destacamos, a compreensão do conhecimento do professor sobre o processo, a identificação de conexões entre o conteúdo de ciências e matemática, as competências sobrepostas (Zhang et al., 2015), a dependência assimétrica entre as disciplinas (Wong & Dillon, 2020), o currículo desfasado (Coelho & Rocha, 2022; Osborne, 2014; Park et al., 2021) e a integração eficaz de conhecimento de conteúdo, permitindo uma abordagem conjunta para resolver problemas complexos (Honey et al., 2014). Além disso, no contexto tecnológico, é crucial considerar os domínios de conhecimento implícito e como os professores os aplicam na reflexão sobre o desenvolvimento e a aplicação de tarefas interdisciplinares (Coelho & Rocha, 2022). O conhecimento interdisciplinar dos professores é essencial para o sucesso da implementação interdisciplinar, mas muitas vezes carece de abordagem adequada no desenvolvimento profissional, exigindo investimento em formação adicional ou estratégias de colaboração entre pares (Greef et al., 2017; Viseu & Rocha, 2020). Assim, o objetivo central é caracterizar o conhecimento profissional do professor de Física ao adotar uma abordagem interdisciplinar com tecnologia. Especificamente, pretendemos dar resposta à seguinte questão:

- Quais os domínios de conhecimento que uma professora de Física mobiliza ao planejar e implementar tarefas interdisciplinares com o uso da tecnologia, e como esses domínios influenciam as suas práticas de ensino?

O conhecimento profissional do professor no processo de articulação disciplinar

O conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) dos professores é essencial para o sucesso do ensino, ultrapassando o conhecimento do conteúdo em si para o conhecimento do conteúdo para o ensino (Shulman, 1987). De acordo com o mesmo autor há três grandes categorias de conhecimento: conhecimento do conteúdo (CK), conhecimento pedagógico (PK) e o PCK. O CK abrange o conhecimento do conteúdo acadêmico de uma área disciplinar, incluindo métodos específicos e compreensão dos conceitos centrais (Gess-Newsome et al., 2017). O PK inclui os princípios gerais do ensino, aprendizagem, avaliação e gestão da sala de aula (König et al., 2011). Por último o PCK é o conhecimento do conteúdo específico e competências necessárias para ensinar efetivamente uma disciplina (Baumert & Kunter, 2013; Depaepe et al., 2013). Estudos demonstram associação positiva entre CK, PK, PCK e qualidade da instrução e resultados dos alunos (e.g., Guess-Newsome et al., 2017; Keller et al., 2017).

Com a interação entre Matemática e Física teremos de ter em consideração outros modelos específicos de conhecimento que permitam definir o conhecimento específico necessário aos professores na inter-relação entre ambas as áreas disciplinares. Destacamos o modelo *Application Model and Pedagogical Content Knowledge – APCK*, onde a Matemática ocupa uma posição de destaque, por ser considerada linguagem universal compartilhada por todos e, portanto, integradora por natureza. No modelo APCK, Rocha (2019) destaca a importância da construção do PCK e inspira-se no modelo TPACK de Mishra e Koehler (2006) para fundamentar a sua abordagem. Relaciona três tipos de conhecimento base: o conhecimento de aplicações (AK), o conhecimento pedagógico (PK) e o conhecimento de conteúdo (CK), destacando as interações que se manifestam com diferentes dinâmicas por meio do PCK, o conhecimento de aplicações e conteúdo (ACK) e o conhecimento pedagógico de aplicações (APK). No âmbito do APCK, a aplicação matemática é considerada uma atividade que reflete contextos reais, promovendo processos como descrição, análise, construção ou raciocínio. Este modelo incentiva um uso diferenciado do conhecimento matemático, permitindo que os tópicos sejam abordados de forma integrada, não compartimentalizada, favorecendo a utilização do conhecimento matemático dos alunos em diferentes situações. Rocha (2019) ressalta que o desenvolvimento desse conhecimento não é automático e requer reflexão e

pensamento crítico sobre a prática por parte dos professores. Ao desenvolver e/ou aplicar tarefas interdisciplinares, deve-se ter também em consideração o contexto da tarefa, as estratégias a implementar, a estrutura da tarefa, as dificuldades sentidas pelos alunos no processo de ensino e aprendizagem. As decisões, tomadas pelo professor, influenciam diretamente o desenvolvimento do ACK e do APK bem como a eficácia do ensino-aprendizagem.

Metodologia e contexto

Adotou-se uma metodologia qualitativa com orientação interpretativa segundo Yin (2009), num estudo sobre o conhecimento profissional de uma professora de Física em contexto de interdisciplinaridade e uso de tecnologia. Os dados foram obtidos através da observação de aulas numa escola secundária na área da grande Lisboa (alunos com 15-16 anos). Foram ainda realizadas entrevistas semiestruturadas à professora, antes e após as aulas, e efetuada recolha documental. A análise de dados foi essencialmente descritiva e interpretativa tendo como base episódios onde a interdisciplinaridade entre a Física e a Matemática foi promovida. No processo de análise procedeu-se à categorização dos domínios de conhecimento do modelo APCK tendo em conta o conhecimento mobilizado pela professora de Física na integração da Matemática, a tecnologia utilizada, a abordagem da professora e as opções de ensino e aprendizagem (Tabela 1).

Tabela 1. Categorias de análise e relação com o modelo APCK (Rocha, 2019)

Categoria	Conhecimento
Conhecimento de como ensinar o conteúdo específico, tendo em consideração: características dos alunos, práticas eficazes de ensino e o currículo.	Pedagógico de conteúdo (PCK)
Conhecimento do uso da matemática em contextos do mundo real para resolver problemas práticos.	Aplicações (AK)
Conhecimento de como aplicar o conhecimento de conteúdo e pedagógico em contextos do mundo real. Inclui conhecimento de como integrar as disciplinas de matemática e de física através de tarefas práticas.	Pedagógico de aplicações (APK)
Conhecimento da interação entre o conhecimento disciplinar e o conhecimento de aplicações. Isso envolve entender como o uso de aplicações matemáticas pode afetar o conteúdo físico e vice-versa.	Aplicações e conteúdo (ACK)
Conhecimento do que torna os conceitos difíceis ou fáceis de aprender através duma abordagem integrativa de disciplinas.	Pedagógico do Conteúdo e Aplicações (APCK)

Análise dos resultados obtidos

As atividades unem conceitos matemáticos à Física (Frykholm & Glasson, 2005), integrando áreas do saber (An, 2017). A professora enfatiza os conhecimentos

matemáticos na análise de conceitos físicos, explorando conexões práticas (Aguirre-Munõz et al., 2022; McHugh et al., 2018). As tarefas são baseadas em experimentos das Aprendizagens Essenciais, com uso diversificado de tecnologia.

Movimento no plano inclinado: variação da energia cinética e a distância

Com o objetivo de relacionar a variação da energia cinética (ΔE_c) com a distância (d) percorrida por um carro de baixo atrito quando este desce um plano inclinado, a professora desenvolveu uma tarefa associando à atividade experimental, a modelação e a impressão 3D. Na primeira parte da tarefa, os alunos são confrontados com a necessidade de peças que não têm à disposição, pelo que terão de os modelar e depois imprimir em 3D. Nesse sentido, ao problema adicional surgem outras questões como o de modelar o “recurso” material para cortar o sinal do sensor do tempo quando o carro desliza pelo plano inclinado. Precisam de estar atentos às dimensões do “recurso” e analisar como o desenhar na aplicação fornecida pela professora (Figura 1).



Figura 1. Trecho da ficha exploratória da tarefa

A professora ao conceber a tarefa mobilizou assim o seu PCK tendo em conta as estratégias implementadas para enriquecimento da prática:

Professora: Têm aqui diferentes estações de trabalho, enquanto uns estão na modelação e impressão, os restantes terão de estar atentos a como irão recolher os dados e como os terão de organizar. Sugiro uma tabela com todos os dados recolhidos.

Na recolha de dados, os alunos são convidados a explorar como irão organizar os seus dados e posteriormente o seu tratamento:

Professora: Vão obter três pontos. Depois têm de conseguir introduzir esses dados na calculadora. Agora imaginem que com os dados experimentais eu tenho isto assim. É uma reta?

Aluno: Uma curva.

Professora: Ora se eu tivesse estes dados teria de arranjar uma ferramenta matemática que se ajustasse estes pontos à curva. A regressão é uma ferramenta que ajusta os meus pontos a uma função. Agora vou ser *spoiler*, tenho os pontos

assim, e o que veem aqui é uma reta. Então eu vou ajustar a reta aos dados e a melhor reta irá passar por aqui. A regressão linear é assim uma ferramenta matemática que aproxima a melhor reta aos pontos.

Ao indicar o que se pretende analisar em termos de relação física entre as duas grandezas, há a preocupação de analisar com os alunos um recurso que lhes permite otimizar essa relação (ACK). Consciente de que os alunos não têm conhecimento prévio de regressão linear, ela explica o conceito para que compreendam e melhorem a relação entre as grandezas com base nos dados (APK).

Características de uma pilha

Com a questão problema geral: “Será que as pilhas são todas iguais quando apresentam a mesma tensão elétrica?”, esta tarefa tem por base uma atividade experimental. A professora na tarefa destaca o processo para alcançar as competências interdisciplinares: “Organizar e tratar os resultados experimentais”, “Analisar e tratar os resultados experimentais matematicamente e graficamente” e “Comunicar os resultados obtidos e apresentar conclusões com rigor científico”. Competências que sugerem as conexões entre o conteúdo de Física e Matemática (Zhang et al., 2015). Ainda no âmbito da explicação da tarefa, a professora apela para a análise dos pontos a trabalhar e que serão avaliados:

Professora: Na rubrica vocês encontram o que têm de fazer, como vou avaliar o vosso trabalho, o vosso planeamento, como efetuaram a montagem, como procederam ao registo dos vossos dados, como utilizaram a calculadora gráfica e apresentaram os resultados.

A professora mobiliza o seu PCK ao conceber a tarefa onde para além de indicar os objetivos, competências a alcançar, os alunos são levados a compreender qual o foco da sua avaliação. Apresenta-se de seguida um resumo dos itens que são tidos em consideração para o desenvolvimento da tarefa (figura 2):

<p>Parte 1 – Estruturação da tarefa</p> <ul style="list-style-type: none">- Colocação da questão problema geral e das questões-problema parcelares, primeiro colocadas em Quizizz sem qualquer explicação.- Guião para a prática.- Apresentação da curva característica da pilha com que estão a trabalhar.- Planeamento da recolha de dados, organizados em tabelas. <p>Parte 2 – Autonomia na estruturação da tarefa</p> <ul style="list-style-type: none">- Montagem do circuito.- Medição das grandezas físicas em consideração.- Registo de dados numa tabela.- Introdução dos dados obtidos na Calculadora Gráfica para introdução dos resultados experimentais a obter por regressão linear, a equação da reta que expressa a curva característica da pilha.- Investigar e concluir o significado físico do declive da reta obtida. <p>Parte 3 – Tomada de consciência das produções na tarefa</p> <ul style="list-style-type: none">- Debate turma apresentando os resultados das características da pilha no quadro.- Principais conclusões.- Colocação novamente da questão problema geral e das questões-problema parcelares, através do Quizizz, depois da atividade investigativa ter sido realizada.
--

Figura 2. Trecho da ficha exploratória da tarefa

Na parte 1 da tarefa, os alunos podem utilizar o telemóvel ou computador portátil para responder ao Quiz, a professora não intervém numa possível análise ou dificuldade apresentada pelos alunos:

Professora: Pretendo que eles utilizem os conhecimentos que têm de eletricidade obtida em anos anteriores, se questionem, que elaborem possíveis hipóteses para responder à questão principal da tarefa. No fim voltam a fazer o mesmo Quiz para verificarem após a realização da atividade experimental se as respostas dadas se mantêm e com isso que reflitam sobre o resultado da atividade.

O PCK é usado para analisar ideias dos alunos conforme os resultados do quiz aparecem no ecrã do computador. Isso, junto com o conhecimento de conteúdo, permite avaliar o conhecimento dos alunos após a atividade prática. Na parte 2, a professora supervisiona a montagem do circuito pelos alunos e questiona-os sobre o emparelhamento dos aparelhos elétricos:

Professora: Como vais colocar o amperímetro e o voltímetro no circuito? Olha para o guião, em particular para o esquema de montagem que desenhaste aí no caderno.

Aluno1: Então tenho de ver o circuito e colocar ligado a este polo da pilha o amperímetro, o outro fio que sai ao réostato e deste novamente à pilha.

Professora: Isso. O voltímetro como mede diferença de potencial tem de ficar...

Aluno1: Em paralelo.

Professora: Vamos fechar o circuito, olhem os valores, registem.

Aluno2: Professora a voltagem aumentou?

Professora: Aumentou, que estranho, não é?

Em termos matemáticos a informação até aqui não é relevante, no entanto em Física esta abordagem permite-nos constatar que a professora mobiliza predominantemente o seu conhecimento de conteúdo físico. Procurando com as questões que coloca avaliar se os alunos têm conhecimento dos aparelhos que estão a usar, como os devem interligar e que grandezas irão medir. Mediante esta informação pode igualmente avaliar os conhecimentos que os alunos devem ter nesta fase da matéria. Ou seja, mantém a mobilização em particular do seu PCK. Na última questão que levanta procura dar o mote se a pilha estiver muito tempo intercalada no circuito é normal que a sua tensão (U) aumente. Este momento serve para posteriormente conseguir que os alunos associem a este fenómeno o sobreaquecimento da pilha, o aumento da resistência e com isso o efeito de Joule, mobilizando assim o seu CK. Através da obtenção de cinco medições, a professora pretende que, os alunos relacionem as grandezas de diferença de potencial (U) e de intensidade de corrente elétrica (I) através de $U=(I)$.

A mobilização do seu CK, assim como o de AK sugere-nos que no processo os dois conhecimentos se integram, particularmente, quando explica aos alunos como através da equação de reta obtida por regressão linear conseguir obter a resistência interna da pilha

(r_i) através do declive da reta e a força eletromotriz da pilha (ε) através da relação $U = \varepsilon - r_i I$:

Professora: Então já fizeram a regressão? Expliquem-me o que fizeram?

Aluno: Fizemos o U em função de I.

Professora: Então nas ordenadas ficou o U e o I nas abcissas? Ok. Agora quero ver os dados que adicionaste na tabela. Vamos ver se faz sentido. O que contém cada uma das listas? A lista 1 corresponde ao x e a lista 2 ao y. Então o que tens aí?

Aluno: O U está na lista 1.

Professora: Verifica isso. Na lista 1 tens de ter os dados de I e na lista 2 o U. Agora vai ao gráfico. Bonitinho! Agora temos de perceber qual é o declive dessa reta e a ordenada.

Aluno: Não posso olhar as equações e comparar?

Professora: Claro que sim, agora verifica o que irá dar o declive da reta e da ordenada na origem.

No processo mobiliza o seu APK dando apoio aos alunos de como utilizar a aplicação matemática e assim com recurso à CG ajudar os alunos a interpretarem com os dados obtidos a relação de U(I).

Movimento uniformemente retardado

A tarefa tem por base realizar uma atividade experimental com o intuito de relacionar a velocidade (v) e o deslocamento (Δx) de um corpo com movimento uniformemente retardado e determinar a aceleração (a) e a resultante das forças de atrito (F_a). Na primeira parte da tarefa a professora começa por orientar os alunos os conceitos implícitos na atividade experimental. À medida que discute o tema vai de forma sumária explicando as relações no quadro:

Professora: Entre A e B eu tenho o movimento retilíneo acelerado, mas entre B e C na superfície plana e rugosa, vocês verificam que o corpo para no fim da trajetória. Ora se tinha uma velocidade que adquiriu quando caiu da rampa, chegou aqui e parou, o que faz o corpo parar? Vejamos quais são as forças que estão a ser aplicadas ao corpo. Quando o corpo estiver entre B e C teremos o peso para o centro da Terra, a normal do plano que é igual em módulo e sentido contrário. E qual é a outra força que o faz parar?

Aluno: Força de atrito?

Professora: Então eu posso afirmar que a força resultante é a soma destas três forças, mas como peso e normal têm a mesma intensidade e sentidos opostos, teremos que a soma das duas é zero. Então a nossa força resultante é igual à força de atrito. Então vou ter um movimento em linha reta, que se chama retilíneo, como é constante, uniformemente retardado. Então para este tipo de movimento eu posso considerar que B é a posição inicial e C a posição final, isso permite-me dizer que...

Esta análise conjunta com os alunos permite à professora discutir e avaliar com os alunos os conceitos a trabalhar verificando se fazem relações entre os temas abordados anteriormente tal como representado na Figura 3. O PCK e CK são particularmente mobilizados pela professora nesta parte.

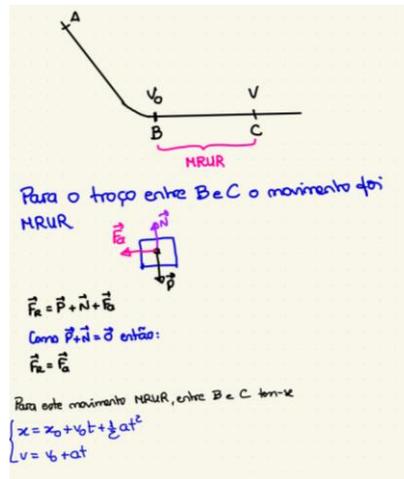


Figura 3. Análise dos conceitos a explorar na atividade prática

Numa última parte da tarefa que é de analisar os resultados obtidos pelos alunos, trabalha com dados recolhidos previamente, a finalidade que os alunos comparem com os seus resultados e avaliem a tarefa desenvolvida.

Professora: No processo de análise dos nossos dados era necessário verificarem como se relacionavam as variáveis de velocidade com o deslocamento. Pela lógica quanto maior a velocidade do corpo ao passar no ponto B então maior será o deslocamento. Recordo que eu quero relacionar a velocidade inicial com o deslocamento. Nesse sentido podemos continuar a trabalhar o sistema que aqui está. Atenção este seria uma situação de análise numa equação de 2.º grau. Complicado! A estratégia será ter em atenção a lei das velocidades e elevar toda a expressão a dois.

Na Figura 4 é possível constatar que a professora domina o conhecimento matemático implícito para o desenvolvimento da expressão que lhe interessa para relacionar as grandezas de velocidade inicial (v_0) com o deslocamento (Δx). Na continuidade do raciocínio destaca a relação obtida com a equação da reta que melhor se ajusta aos pontos correspondentes aos dados obtidos experimentalmente. Chamado à atenção para a relação obtida e o gráfico que os alunos deveriam ter traçado:

Figura 4. Relação entre grandezas físicas e obtenção da aceleração e força de atrito

Professora: Atenção o corpo para logo a velocidade final é zero e por isso ficamos com uma relação do tipo $v_0^2 = -2a\Delta x$. Ora ao traçar o gráfico $v_0^2 = f(\Delta x)$ temos

uma reta onde a ordenada na origem é praticamente nula como podem aqui ver e o declive será igual a $-2a$. Atenção o menos é porquê?

Aluno: O movimento é retardado, a aceleração toma por isso valor negativo.

Professora: Contrário ao movimento do corpo que é positivo. Boa!

Em termos de conhecimento profissional, esta tarefa com carácter interdisciplinar requer da professora conhecimento quer de aplicação Matemática quer de Física. Sugerindo-nos a mobilização do APCK, tendo em conta a integração dos três conhecimentos base do modelo de Rocha (2019).

Conclusão

A professora de Física, ao planear e implementar as tarefas interdisciplinares com o uso da tecnologia, mobiliza diversos domínios de conhecimento. Em particular, ela demonstra mobilizar o seu conhecimento do conteúdo físico (CK), utilizando-o para guiar os alunos na compreensão dos conceitos físicos subjacentes às atividades. Além disso, o seu PCK é evidente na forma como ela adapta e estrutura as atividades para facilitar a compreensão dos alunos, destacando as relações entre a Física e a Matemática. Demonstra ainda um sólido conhecimento do uso da matemática em contextos do mundo real e, portanto, de AK, utilizando-a como uma ferramenta para resolver problemas práticos de física. Ela integra conceitos matemáticos, como regressão linear, no contexto físico, mostrando como os métodos matemáticos podem ser aplicados para analisar e interpretar dados experimentais em Física. Além disso, exhibe conhecimento pedagógico de aplicações (APK) ao orientar os alunos no uso de ferramentas tecnológicas, como calculadoras gráficas, para analisar e representar graficamente os dados experimentais. Ela enfatiza a importância de entender não apenas os conceitos físicos, mas também como aplicar ferramentas matemáticas para investigar e interpretar fenómenos físicos. Em suma, ao planear e implementar tarefas interdisciplinares com o uso da tecnologia, a professora de Física mobiliza uma ampla gama de domínios de conhecimento, incluindo CK, PCK, AK e APK, demonstrando assim uma compreensão abrangente e integrada dos conceitos físicos e matemáticos e suas aplicações. Esses domínios de conhecimento influenciam a sua prática de ensino, permitindo-lhe criar experiências de aprendizagem significativas para os alunos.

Agradecimentos

Este trabalho é apoiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia que financiou o projeto TecTeachers (2022.03892.PTDC).

Referências bibliográficas

- Aguirre-Muñoz, Z., Dang, B., & Loria Garro, E. S. (2022). *Impact of Integrated Science and Mathematics Instruction on Middle School Science and Mathematics Achievement*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104082>
- An, S. A. (2017). Preservice teachers' knowledge of interdisciplinary pedagogy: The case of elementary mathematics–science integrated lessons. *ZDM Mathematics Education*, 49(2), 237–248. <https://doi.org/10.1007/11858-016-0821-9>
- Baumert, J., & Kunter, M. (2013). The COACTIV model of teachers' professional competence. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Eds.), *Cognitive activation in the mathematics classroom and professional competence of teachers. Results from the COACTIV project* (pp. 25–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5149-5_2
- Broggy, J., O'Reilly, J. & Erduran, S. (2017). Interdisciplinarity and science education. In K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education* (pp. 81–90). Brill Sense. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_6
- Coelho, T., & Rocha, H. (2022). A interdisciplinaridade em contexto de integração da tecnologia: o conhecimento profissional de professores de matemática e de físico-química. In A. S. Rodrigues, A. Domingos, A. P. Canavarro, H. Martins, L. Serrazina, & P. C. Teixeira (2022). *Atas do Encontro de Investigação em Educação Matemática - EIEEM 2022: Desenvolvimento curricular* (pp.346-349). SPIEM - Sociedade Portuguesa de Investigação em Educação Matemática.
- Depaepe, F., Verschaffel, L., & Kelchtermans, G. (2013). Pedagogical content knowledge: A systematic review of the way in which the concept has pervaded mathematics educational research. *Teaching and Teacher Education*, 34, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.03.001>
- Frykholm, J., & Glasson, G. (2005). Connecting science and mathematics instruction: pedagogical context knowledge for teachers. *School, Science and Mathematics*, 105(3), 127–14. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2005.tb18047.x>
- Galili, I. (2018). Physics and mathematics as interwoven disciplines in science education. *Science & Education*, 27, 7–37. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9958-y>
- Gess-Newsome, J., Taylor, J. A., Carlson, J., Gardner, A. L., Wilson, C. D., & Stuhlsatz, M. A. M. (2019). Teacher pedagogical content knowledge, practice, and student achievement. *International Journal of Science Education*, 41(7), 944–963. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1265158>
- Greef, L. de, Post, G., Vink, C., & Wenting, L. (2017). *Design interdisciplinary education. A practical handbook for university teachers*. Amsterdam University Press.
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, A. (2014). *STEM integration in K-12. Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>
- Keller, M. M., Neumann, K., & Fischer, H. E. (2017). The impact of physics teachers' pedagogical content knowledge and motivation on students' achievement and interest. *Journal of Research in Science Teaching*, 54, 586–614. <https://doi.org/10.1002/tea.21378>
- Kjeldsen, T. H. and Lützen, J. (2015). Interactions between mathematics and physics: The history of the concept of function—Teaching with and about nature of Mathematics. *Science & Education*, 24(5-6), 543–559. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9746-x>
- König, J., Blömeke, S., Paine, L., Schmidt, W. H., & Hsieh, F.-J. (2011). General pedagogical knowledge of future middle school teachers: On the complex ecology of teacher education in the United States, Germany, and Taiwan. *Journal of Teacher Education*, 62, 188–201. <https://doi.org/10.1177/0022487110388664>

- McHugh, L., Kelly, A. M., & Burghardt, M. D. (2018). Professional development for a middle school mathematics-infused science curriculum. *Journal of Science Teacher Education*, 29(8), 804–828. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2018.1514825>
- Mishra, P., & Koehler, M. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108, 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Osborne J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Palmgren, E. & Rasa, T (2024). Modelling roles of mathematics in physics. *Science & Education*, 33, 365–382 <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00393-5>
- Park, W., Kim, D. & Kang D. Y. (2021). Research trends in science and mathematics education in South Korea 2014-2018: A cross-disciplinary analysis of publications in selected local journals. *Asia-Pacific Science Education*, 7(2), 280–308. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10029>
- Pospiech, G. (2019). Framework of mathematization in physics from a teaching perspective. In G. Pospiech, M. Michelini, & B. S. Eylon (Eds.), *Mathematics in physics education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04627-9_1
- Rocha, H. (2019). Interdisciplinary tasks: Pre-service teachers' choices and approaches. In L. Leite, E. Oldham, L. Carvalho, A.S. Afonso, F. Viseu, L. Dourado & M. H. Martinho (Eds.), *Proceedings of the ATEE Winter Conference Science and mathematics education in the 21st century* (pp. 82-93). ATEE and CIED.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of a new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-23. <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>
- Viseu, F. & Rocha, H. (2020). Interdisciplinary technological approaches from a mathematics education point of view. In L. Leite, E. Oldham, A. Afonso, F. Viseu, L. Dourado, & H. Martinho (Eds.), *Science and mathematics education for 21st-century citizens: challenges and ways forward* (pp. 209-229). Nova Science Publishers.
- Wong, V., & Dillon, J. (2020). Crossing the boundaries: Collaborations between mathematics and science departments in English secondary (high) schools. *Research in Science & Technological Education*, 38(4), 396–416. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1636024>
- Yin, R.K. (2003). *Case study research: Design and methods* (4th edition). Sage Publications.
- Zhang, D., Orrill, C., & Campbell, T. (2015). Using the mixture rasch model to explore knowledge resources students invoke in mathematics and science assessments. *School Science and Mathematics*, 115(7), 356–365. <https://doi.org/10.1111/sm.12135>