
Construindo um professor: o papel de uma disciplina de física de partículas nos Conhecimentos Docentes⁺*

Julien Minerbo¹

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências – Universidade de São Paulo

Marcelo G. Munhoz¹

Ivã Gurgel¹

Universidade de São Paulo

São Paulo – SP

Sérgio Leal¹

Universidade Federal do ABC

Santo André – SP

Resumo

Este estudo é um recorte de um estudo de caso que investigou os conhecimentos docentes de licenciandos em Física numa disciplina introdutória de física de partículas fundamentada em discussões conceituais, histórico-epistemológicas e educacionais, no último semestre do período ideal da formação inicial. Entendemos o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) como o conhecimento idiossincrático próprio do professor, utilizando como referencial teórico o Modelo Consensual Refinado. Investigamos um grupo de licenciandos em um ciclo de elaboração-implementação-reflexão de uma aula sobre temas de física de partículas estudados durante a disciplina e, utilizando como instrumentos de coleta de dados o plano de aula desenvolvido pelos licenciandos, instrumento CoRe, registros audiovisuais das aulas ministradas e da etapa de reflexão, pudemos inferir os conhecimentos docentes para o ensino de Física fundamentados nos referenciais educacionais estudados ao longo da licenciatura voltados à física clássica, bem como nas experiências prévias dos participantes como educador e educando, em contraste ao desafio de ensinar temas de física

⁺ Making a teacher: the role of a particle physics course in Teacher Knowledge

^{*} Recebido: 8 de fevereiro de 2026.

Aceito: 6 de abril de 2026.

¹ E-mails: julienbminerbo@gmail.com; munhoz@if.usp.br; gurgel@usp.br; sergio.henrique@ufabc.edu.br

moderna. Nesse contexto, a disciplina cursada mostrou-se fundamental ao proporcionar discussões educacionais e uma linha histórico-epistemológica bem definida. Concluímos que o suporte fornecido pela disciplina contribuiu para o desenvolvimento do PCK dos licenciandos, especialmente nas dimensões do conhecimento do conteúdo e do currículo, ilustrado pelos resultados obtidos no mapeamento do PCK em ação.

Palavras-chave: *Conhecimento Pedagógico do Conteúdo; Física Moderna e Contemporânea; Formação Inicial; Modelo Consensual Refinado.*

Abstract

This study is an excerpt from a case study that investigated the teacher's knowledge of physics education majors in an introductory particle physics course grounded in conceptual, historical-epistemological, and educational discussions, during the final semester of their initial teacher training. We understand Pedagogical Content Knowledge (PCK) as the teacher's unique idiosyncratic knowledge, using the Refined Consensus Model as our theoretical framework. We investigated a group of pre-service teachers in a cycle of lesson planning, teaching, and reflecting on a lesson covering particle physics topics studied during the course. Using as data collection instruments the lesson plans developed by the pre-service teachers, the CoRe instrument, audiovisual recordings of the lessons taught and the reflection phase, we were able to infer the teachers' knowledge for teaching physics based on the educational frameworks studied throughout the teacher education program focused on classical physics, as well as on the participants' prior experiences as educators and learners, in contrast to the challenge of teaching topics in modern physics. In this context, the course proved fundamental by providing educational discussions and a well-defined historical-epistemological framework. We conclude that the support provided by the course contributed to the development of the teacher candidates' PCK, especially in the dimensions of content knowledge and curriculum knowledge, as illustrated by the results obtained from the mapping of PCK in action.

Keywords: *Pedagogical Content Knowledge; Modern and Contemporary Physics; Initial Training; Refined Consensus Model.*

I. Introdução

É impossível pensar o mundo atual sem a Física Moderna e Contemporânea (FMC), presente em nossas tecnologias de uso cotidiano, matriz energética, filmes, literatura e artes. Nos últimos trinta anos, pesquisas em ensino de Física têm buscado compreender *por que, se é possível, e como* inserir a FMC na educação básica. A maioria dos autores justifica o ensino de FMC com base nas orientações dos documentos oficiais para o Ensino Médio (Siqueira; Barcellos; Rego, 2024), destacando a contextualização com novas tecnologias, a participação cidadã crítica e a integração dos estudantes ao mundo tecnológico. Além disso, são apontados como objetivos a atualização da imagem da ciência, o despertar do interesse dos estudantes, a promoção de uma cidadania crítica e a compreensão da ciência como uma construção contínua (Garcia; Camillo, 2024; Siqueira; Barcellos; Rego, 2024), bem como a abordagem das fronteiras da ciência, da construção do conhecimento, dos limites da intuição e de aspectos culturais e históricos (Pietrocola, 2017; Siqueira, 2017). Nesse contexto, apontamos que é necessário repensar a formação docente para o ensino desse tema, uma vez que sua epistemologia e seu estilo de pensamento se distanciam da física clássica.

Tomando a atividade docente como uma atividade profissional fundamentada em conhecimento especializado (Shulman, 1986), torna-se necessário refletir sobre as bases do conhecimento que os professores possuem para exercer suas funções. O conceito de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (do inglês *Pedagogical Content Knowledge*, ou PCK) vem crescendo desde a década de 1990 por promover uma discussão que ultrapassa a separação entre conhecimentos do conteúdo específico e pedagógico geral, apresentando a existência da dimensão do “saber ensinar um conteúdo específico” (Leal; Novais; Fernandez, 2015). Ao compreender o PCK como o conhecimento que diferencia um docente de uma determinada área de um especialista dessa mesma área, entende-se que o conhecimento do conteúdo é necessário, mas não suficiente para o exercício da atividade docente. Marcon, Graça e Nascimento (2011) apresentam uma interpretação que sintetiza e ilustra o que é o PCK em si, destacando contribuições de diferentes autores para sua compreensão:

[O] conhecimento pedagógico do conteúdo pode ser compreendido como aquele que o estudante-professor utiliza para, a partir dos seus objetivos (conhecimento dos propósitos para o ensino do conteúdo - Grossman); da realidade dos alunos (conhecimento dos alunos - Cochran); e das características do contexto de ensino e aprendizagem (conhecimento do contexto - Cochran); convocar (conhecimento pedagógico do conteúdo - Shulman), gerir (conhecimento curricular do conteúdo - Grossman); e fazer interagir (conhecimento pedagógico do conteúdo - Shulman); os conhecimentos da base de conhecimentos para o ensino (conhecimentos dos alunos, do conteúdo, pedagógico geral e do contexto - Cochran); visando à adaptação, à transformação e à implementação (conhecimento das estratégias de ensino - Grossman); do conhecimento do conteúdo a ser ensinado (conhecimento do conteúdo - Cochran); de modo a torná-lo compreensível e ensinável aos alunos (essência do conhecimento pedagógico do conteúdo - Shulman) (p. 11).

Para o desenvolvimento desse conhecimento docente é necessário abordar questões relacionadas ao ensino e à implementação de atividades vinculadas a esse conteúdo específico, bem como aspectos de pedagogia geral, conhecimentos sobre currículo, estratégias instrucionais, materiais disponíveis, conhecimentos sobre os estudantes e sobre o contexto, entre outros elementos que ampliam o repertório docente (Carlson *et al.*, 2019; Silva; Montanha; Siqueira, 2020; Siqueira, 2017).

Observamos que, apesar do interesse em ensinar o tema e dos avanços na inserção da FMC na escola (Mendes *et al.*, 2019), o preparo docente ainda se mostra insuficiente (Goulart; Leonel, 2022; Pereira; Ostermann, 2009; Salomão; Araujo, 2021). Sintetizamos duas problemáticas principais: a **falta do conhecimento do conteúdo** em si por parte dos professores (e.g. abstração e modelos pouco intuitivos; um formalismo matemático pouco adequado ao Ensino Médio) e a **falta de mobilização do PCK** para esses temas (incluindo a escassez de materiais didáticos adequados e consolidados, e falta de preparo dos professores para o ensino de tais conteúdos, tanto na formação inicial quanto continuada). Destacamos que ambos os aspectos não podem ser responsabilidade exclusiva do docente em exercício, uma vez que se trata de uma questão estrutural e coletiva de formação. Entendemos que o cotidiano docente é frequentemente marcado pela sobrecarga de trabalho e pela falta de tempo para formação continuada, de modo que é necessário refletir sobre como atuar na causa estrutural – e de responsabilidade coletiva – sem impor ainda mais demandas ao indivíduo.

Ambas as lacunas devem ser endereçadas ao longo da formação docente inicial e continuada. A primeira demanda a atualização de currículos universitários que ainda são insuficientes, especialmente no que se refere à física de partículas (Milnitsky, 2024) e às disciplinas específicas que abordam esse tema. A segunda lacuna requer ações práticas e discussões educacionais que contemplem o desenvolvimento do PCK, como a realização de estágio supervisionado para o ensino de FMC, discussões sobre estratégias instrucionais e propósitos para o ensino do tema, além da oferta de materiais didáticos adequados (Siqueira, 2017).

Pretendemos, neste estudo, abordar o tema de FMC na formação inicial de futuros docentes da área de Física, oferecendo suporte tanto ao conhecimento do conteúdo quanto ao conhecimento pedagógico do conteúdo, atualizando-os nas disciplinas de FMC dos cursos de licenciatura, de modo a compor um processo de fortalecimento dos conhecimentos docentes necessários ao futuro exercício profissional. Desse modo, este trabalho tem como objetivo geral **investigar como uma disciplina introdutória de física de partículas contribuiu para o desenvolvimento do PCK de um grupo de licenciandos em Física**. Para tal, estruturamos os seguintes objetivos específicos:

- (i) Mapear os conhecimentos docentes dos licenciandos a partir das categorias do Modelo Consensual Refinado do PCK;

- (ii) Identificar a contribuição da disciplina de física de partículas para o desenvolvimento do PCK em FMC, considerando as categorias preconizadas no modelo assumido.

Adotamos o referencial teórico do PCK por evidenciar os conhecimentos e as habilidades de ensinar vinculados a um tema específico, em detrimento de uma pedagogia generalizada. Ao reconhecer as especificidades de cada área do conhecimento, reconhecemos também suas diferenças epistemológicas – o que pressupõe diferentes processos de ensino e aprendizagem. Ao comparamos a FMC à Física Clássica (cujo ensino é amplamente discutido nas licenciaturas), percebemos diferenças epistemológicas significativas que demandam processos igualmente distintos de ensino e aprendizagem. Na próxima seção, discutimos o Modelo Consensual Refinado (MCR) do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo, adotado como referencial teórico dos Conhecimentos Docentes nesta pesquisa.

II. O Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK)

Shulman (1986, 1987) cunhou o conceito de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo com o intuito de caracterizar os conhecimentos base que compõem o repertório profissional de um professor, sendo que tal conhecimento se configurava como *um dos conhecimentos necessários* para a transformação do conteúdo em si em conteúdo ensinável. Shulman (1987) também propôs o **Modelo de Raciocínio Pedagógico e Ação (MPRA)**, elaborado a partir de discussões empíricas e filosóficas, sendo um ciclo virtuoso que compreende os conhecimentos docentes como dinâmicos e passíveis de transformação. O processo (Fig. 1) inicia-se (e se encerra) com uma **compreensão** dos propósitos, dos conteúdos e de suas estruturas, além de ideias internas e externas à disciplina. Essa compreensão passa, então, por uma **transformação**, que envolve as etapas de preparação (interpretação e análises críticas), representação (analogias, metáforas, exemplos, demonstrações e entre outras formas de representação), seleção (escolhas a partir dos repertórios disponíveis) e adaptação às características dos estudantes, considerando suas concepções, dificuldades, perfis, culturas e interesses. O próximo passo é a **instrução** (ou ensino), que consiste na atividade desempenhada pelo docente na sala de aula em si. Em seguida, temos a **avaliação** dos resultados dos alunos, sucedida por uma **reflexão** crítica do docente sobre o processo desenvolvido até então. Por fim, esse acúmulo de pensamentos, experiências e reflexões culmina em **novas compreensões**.

Durante as décadas seguintes, a discussão sobre os conhecimentos docentes prosseguiu com contribuições de diversos autores, que ampliaram sua compreensão por meio de novos modelos (Fernandez, 2015; Kind; Chan, 2019). Esses estudos incorporaram e destacaram diferentes aspectos do PCK, como sua dinamicidade e complexificação ao longo da carreira docente (Cochran; DeRuiter; King, 1993), a importância das crenças e orientações para o ensino nas escolhas didáticas (Magnusson; Krajcik; Borko, 1999) e os filtros mobilizados pelo professor durante os processos de planejamento e implementação de uma aula (Carlson *et al.*,

2015). Com base nesses debates, compreendemos as discussões sobre conhecimentos docentes fundamentadas no PCK e adotamos, nesta pesquisa, o Modelo Consensual Refinado (Carlson *et al.*, 2019).



Fig. 1 – Modelo de Raciocínio Pedagógico e Ação. Disponível em Santos, Freire, 2017, p. 9.

O Modelo Consensual Refinado (MCR) descreve os Conhecimentos Docentes em cinco dimensões: PCK em ação, PCK pessoal, Contexto, PCK coletivo e Base dos Conhecimentos Docentes. Essas dimensões são representadas (Fig. 2) por hexágonos concêntricos, organizados do nível mais individual e situado na ação ao mais coletivo e planejado. Um aspecto central desse modelo é o intercâmbio de conhecimento entre as diferentes dimensões, representado pelas setas bidirecionais presentes no diagrama.

No campo mais interno do modelo situam-se o conhecimento e as habilidades do professor que, em sua atividade docente, operam no ciclo elaboração-implementação-reflexão, relacionado ao MRPA (Shulman, 1987), pois este modelo reconhece a dinamicidade e a necessidade da prática para a articulação dos conhecimentos docentes. Essa primeira dimensão do PCK é denominada **PCK em ação**, (do inglês *enacted PCK*, ou ePCK), e corresponde à dimensão mais específica do PCK individual, em consonância com a proposição de Gess-Newsome (2015), podendo ser sintetizada como sendo

o conhecimento e as habilidades específicas utilizadas por um professor individual em um ambiente específico, com um aluno ou grupo de alunos específico, com o objetivo de que esses alunos aprendam um conceito específico, um conjunto de conceitos ou um aspecto específico da disciplina (p. 9, tradução nossa).

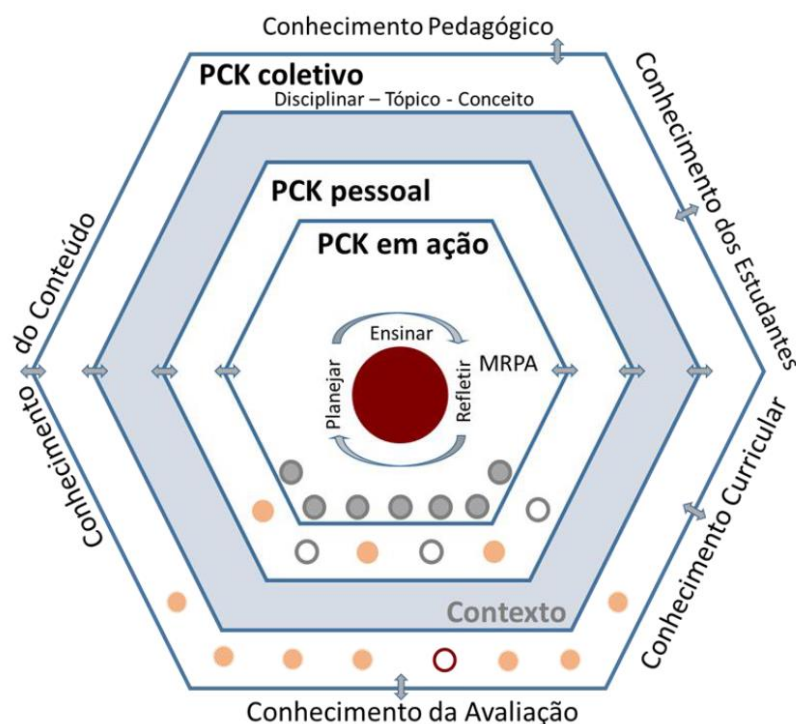


Fig. 2 – Modelo Consensual Refinado do PCK adaptado, disponível em (Silva; Fernandez, 2021). Na camada mais externa apresentam-se os conhecimentos docentes (Conhecimento do Conteúdo, Pedagógico, dos Estudantes, Curricular e de Avaliação), que se relacionam com o PCK em diferentes domínios (Coletivo, Pessoal, Em Ação). As setas representam a dinamicidade dessas relações entre os conhecimentos. Os diferentes hexágonos representam o professor no centro (vinho), os resultados dos alunos (cinza preenchido), os alunos (cinza não preenchido), outras contribuições incluindo acadêmicas (laranja) e outros professores (vinho não preenchido).

Exatamente por ser uma dimensão específica e situada, ao analisar uma sequência didática do docente em ação, o ePCK é a dimensão que pode ser observada mais diretamente, enquanto as demais precisam ser inferidas com o auxílio de dados adicionais. Essa dimensão pode ser acessada pela expressão do conhecimento docente, escolha de estratégias de ensino, recursos instrucionais e representações, bem como na articulação racional dos movimentos pedagógicos e do raciocínio pedagógico. Interagindo diretamente com a prática docente, temos os resultados dos alunos (representados na Figura 2 pelos ícones cinza preenchidos), compreendidos não apenas como evidências de avaliação da aprendizagem dos alunos, mas também como indicadores de interação, motivação, engajamento, entre outros aspectos. Assim, compreende-se desde o Modelo Consensual de 2012 (Carlson *et al.*, 2015) que tais resultados informam o professor durante sua prática e alteram a dinâmica de sua aula, operando como filtros e amplificadores do PCK.

Com base também nas definições de Grossman (1990) para o PCK compreendemos que, por meio de seu ePCK, o professor expressa suas motivações e concepções para o ensino de um determinado tópico a partir dos filtros que utiliza. Assim, ao ensinar o mesmo tema de maneiras distintas, observamos a valorização de certos aspectos do conteúdo em detrimento de outros, configurando-se como uma escolha pedagógica, sendo consciente ou não. Destacamos que, nesta dimensão do PCK, o professor também considera as compreensões e concepções do grupo de alunos *específico* para o qual ministra a aula, o que também reflete seus objetivos de ensino em relação a um conteúdo específico. Além disso destacamos, no ePCK, a articulação de estratégias instrucionais para um determinado conteúdo *específico*, mobilizada a partir de uma fonte mais ampla e construída a partir de todo o repertório do docente – o PCK pessoal, descrito a seguir.

O **PCK pessoal** (pPCK) pode ser definido como o conhecimento acumulado, idiossincrático e dinâmico do PCK e das habilidades do professor, proveniente de contribuições de todos os estudantes que ele já ensinou (representado na Figura 2 pelos ícones cinzas não preenchidos), experiências pessoais, artigos científicos, mídias sociais, cursos e experiências de aprendizagem profissional, conversas (representado pelos ícones laranjas preenchidos e pelo ícone vinho não preenchido, podendo ser com colegas professores, pesquisadores educacionais, cientistas e outros especialistas em conteúdo na forma de intercâmbios profissionais), entre outros. O pPCK pode ser compreendido como o reservatório do qual o docente mobiliza recursos para a construção do ePCK, mantendo com essa dimensão uma relação contínua e de influência mútua. A partir do modelo de Grossman (1990), acrescentamos a compreensão curricular – incluindo materiais disponíveis e adequados para o ensino –, bem como conhecimentos sobre estratégias instrucionais adequadas ao ensino de um tópico *específico* para um grupo de alunos *específico* provenientes da prática docente, mas compreendidos aqui como parte desse reservatório, diferentemente do ePCK. O pPCK é desenvolvido principalmente por meio da educação formal, da experiência docente e do compartilhamento profissional, sendo único para cada professor.

Em contato direto com o pPCK encontra-se o **contexto de aprendizagem**, dimensão essencial à atividade docente, tratando-se tanto de um contexto próximo (alunos, sala de aula) quanto mais amplo (país, escola, diretrizes), e inclui o conhecimento *direto* do grupo de alunos a ser ensinado, como suas idades, interesses, dificuldades, experiências e culturas, bem como o conhecimento escolar, envolvendo currículo, diretrizes e estrutura. Enfatizamos que as características dos estudantes – suas concepções, dificuldades, perfil, cultura e interesses – constituem o aspecto central dessa dimensão, uma vez que se referem ao grupo efetivamente ensinado, e não a um grupo genérico. Essa dimensão do conhecimento funciona como um amplificador e filtro do que será desenvolvido em aula, sendo também o que diferencia o PCK pessoal da dimensão seguinte do modelo, o PCK coletivo.

O **PCK coletivo** (cPCK) consiste em um amálgama de conhecimentos docentes compartilhados e legitimados por determinado coletivo, que pode variar desde um grupo

específico de trabalho até uma literatura canônica. Nesse sentido, é possível reconhecer diferentes escalas de coletividade, distinguindo-se o cPCK de um pequeno grupo de professores daquele constituído de forma canônica a partir da literatura, variando de específico de disciplina (física), tópico (mecânica) e conceito (massa).

Assim, essa camada se relaciona com a base dos conhecimentos profissionais do docente, desenvolvidos formalmente, e que estão representados na parte mais externa do diagrama:

- **Conhecimento do conteúdo:** corresponde ao conhecimento acadêmico relacionado à construção do conhecimento em si, às relações entre diferentes domínios e à elaboração de argumentações científicas. Esse conhecimento está relacionado com a proposta original de Shulman (1986), sendo que não é necessário apenas saber *o que*, mas *como* e *por que* ensinar esse conteúdo específico;
- **Conhecimento pedagógico:** refere-se ao conhecimento generalizado sobre como ministrar aula e sobre referenciais teóricos e pedagógicos, envolvendo desde a literatura sobre desenvolvimento e psicologia infantil até discussões acerca da natureza da educação e do papel do professor. Pode ser diferenciado entre aquele descrito na literatura e o conhecimento pessoal do docente. A formação inicial de professores oferece o suporte teórico, no entanto o conhecimento prático só será adquirido a partir da experiência docente. A reflexão sobre o próprio ato de ensinar permite o docente conectar o conhecimento acadêmico à sua prática e orienta as decisões (Fernandez, 2015). Nessa dimensão, também podem aparecer manifestações e concepções sobre a atividade docente mais ampla, como conhecimentos, crenças, objetivos e habilidades gerais de ensino (Marcon; Graça; Nascimento, 2011);
- **Conhecimento curricular:** aborda os objetivos obrigatórios referentes ao currículo escolar ou do Estado, como, por exemplo, a BNCC (Base Nacional Comum Curricular), incluindo a compreensão de sua existência e de seus propósitos formativos. Inclui também o conhecimento sobre o sequenciamento de aulas para um conteúdo específico, bem como sobre materiais e estratégias instrucionais disponíveis, como livros didáticos, apostilas, jogos, simulações, entre outros;
- **Conhecimento dos estudantes:** compreende o conhecimento prévio dos estudantes, suas dificuldades recorrentes e os pré-requisitos necessários para a aprendizagem de um conteúdo específico. Neste caso, trata-se de um conhecimento generalizado sobre os estudantes;
- **Conhecimento de avaliação:** relaciona-se às questões de *por que* avaliar, *o que* avaliar, *como* avaliar e como implementar processos formativos significativos. Para além dos métodos utilizados, como provas ou seminários, essa dimensão envolve refletir sobre os objetivos da avaliação e seu papel no desenvolvimento do aluno em relação aos objetivos estabelecidos pelo professor.

Estabelecida uma base teórica sobre o PCK e reconhecida sua centralidade para o exercício docente, torna-se possível pensar sobre formas de como desenvolvê-lo durante a formação inicial de professores. Compreendemos que, além da necessidade de uma sólida base de conhecimentos (Kulgemeyer *et al.*, 2020), é fundamental vivenciar o processo de elaboração-implementação-reflexão de aulas ou sequências didáticas para o desenvolvimento do PCK em qualquer etapa da carreira docente. Enfatiza-se a importância dessa reflexão especialmente no contexto da formação inicial (Fernandez, 2015; Freire; Fernandez, 2014; Goes; Nogueira; Fernandez, 2018; Hume; Cooper; Borowski, 2019; Korthagen, 2012; Leal; Novais; Fernandez, 2015; Montenegro; Fernandez, 2015; Nilsson; Loughran, 2012; Silva; Martins, 2019; Testoni, 2013), de modo que compreendemos a importância dos licenciandos refletirem sobre sua prática e serem capazes de compreender e criticar sua própria atuação como docente.

III. Metodologia

O presente estudo constitui um recorte de uma pesquisa que analisou os conhecimentos docentes de um grupo de licenciandos ao cursar uma disciplina introdutória de física de partículas em 2023. A disciplina era fundamentada na construção formal da Física, com base em obstáculos epistemológicos historicamente desenvolvidos (Milnitsky, 2024), e com tempo dedicado à Prática como Componente Curricular (PCC), sendo que os licenciandos **elaboraram** (em etapas preparatórias ao longo da disciplina), **ministraram** (em um minicurso para alunos de Ensino Médio) e **refletiram** (individualmente e coletivamente, em aulas da própria disciplina) sobre a própria prática. As aulas elaboradas e ministradas tiveram como tema conteúdos estudados na disciplina cursada pelos licenciandos na universidade. O grupo analisado neste trabalho foi composto por dois homens e quatro mulheres, com idades entre 23 e 25 anos, todos com experiência docente em estágios e cursinhos, sendo que apenas um participante possuía contato prévio formal com física de partículas, sem, contudo, ter abordado o tema como docente. A aula ministrada pelo grupo para alunos do Ensino Médio de diversas escolas privadas e públicas, como parte de um minicurso oferecido em um sábado, contemplou a proposta de Hideki Yukawa para interações mediadas por partículas virtuais, o trabalho de Bruno Rossi para a detecção de múons e Diagramas de Feynman.

Considerando pesquisas voltadas à investigação do PCK de professores comumente combinam diferentes tarefas e instrumentos de coleta para triangular os dados em categorias significativas (Silva; Martins, 2019), utilizamos diferentes produções dos licenciandos em distintos momentos do processo de elaboração, implementação e reflexão proposto. Os dados foram coletados por meio de registros e produções dos licenciandos durante a disciplina cursada na universidade e durante a regência, com exceção da entrevista. Os instrumentos foram: (i) plano de aula; (ii) instrumento Representação de Conteúdo (CoRe) (Loughran; Berry; Mulhall, 2006); (iii) questionário inicial de mapeamento de perfil; (iv) registros audiovisuais das aulas; (v) reflexão dos licenciandos sobre as aulas ministradas; e (vi) entrevista semiestruturada

posterior. Os instrumentos (i) e (ii) foram preenchidos em grupo, (iii) e (v) de forma individual e (iv) e (vi) corresponderam a registros coletados pelos pesquisadores.

A partir dos dados coletados, realizou-se uma Análise de Conteúdo (Mayring, 2014). Após a definição da questão de pesquisa e estudo do referencial teórico, foram definidas as categorias analíticas (com base no MCR) e as diretrizes de codificação. Em seguida, procedeu-se a uma leitura e codificação preliminares, na quais as categorias foram testadas e revisadas, seguidas da leitura e codificação integral dos dados. Essa análise foi realizada manualmente, com auxílio organizacional do *software* MAXQDA, próprio para análise de conteúdo (Kuckartz; Rädiker, 2019), sendo que as transcrições dos registros audiovisuais foram inicialmente geradas pelo próprio *software* e posteriormente corrigidas pelo pesquisador.

IV. Resultados e discussão

O plano de aula elaborado pelos licenciandos para o conteúdo de Interações, Detecção de Partículas e Diagramas de Feynman possui como objetivos

[que os alunos] investigue[m] o processo de detecção e identificação de novas partículas (píons e múons), compreenda[m] o conceito de partículas virtuais e seu papel nas interações fundamentais, conheça[m] o funcionamento e aplicação do Contador Geiger-Muller como um detector de radiação e por fim organize[m] o conhecimento adquirido e perceba[m] as limitações do modelo de interações (Plano e Aula).

A proposta pode ser dividida em quatro momentos: (I) uma introdução com perguntas e *quizzes* para mapear os conhecimentos e concepções prévias dos alunos e uma exposição apresentando como “problematização inicial” a instabilidade do núcleo atômico; (II) proposição de uma “atividade prática de investigação” com os alunos separados em grupos de quatro integrantes, consistindo numa adaptação do segundo estudo de caso realizado na disciplina na universidade (Milnitsky, 2024); (III) uma nova exposição dialogada, abordando o princípio de incerteza, os Diagramas de Feynman, o problema da instabilidade do núcleo e a proposta de novas interações; e finalizando a aula com (IV) a retomada das perguntas iniciais e sistematização das discussões ocorridas ao longo do encontro.

A seguir, analisamos cada uma das categorias dos Conhecimentos Docentes mobilizados pelos licenciandos para o ensino dos temas propostos, com base no MCR:

PCK em Ação (ePCK)

A partir das respostas ao CoRe e à entrevista semiestruturada, entendemos que os licenciandos investigados apresentaram motivações para o ensino do tema abordado na aula ministrada alinhadas às motivações históricas relacionadas à construção desse conhecimento, tomando como referência a narrativa epistemológica construída na disciplina cursada por eles.

A escolha dos tópicos e das metodologias (discutidas de forma mais aprofundada na seção Conhecimento do Currículo) foi orientada por filtros relacionados à seleção de conteúdos

simultaneamente mais acessíveis aos alunos do Ensino Médio e essenciais para o desenvolvimento da aula, havendo uma preocupação em adaptar o conteúdo ao nível de ensino dos alunos por intermédio de uma interação dialógica que os colocasse como protagonistas de seus próprios processos de aprendizagem, como exemplificado pela fala de uma das licenciandas durante a realização da entrevista:

Foi um consenso do grupo que a gente achou o tema mais interessante e a gente começou a pesquisar assim, questão de atividade, o que a gente poderia dar e até o questionário que teve durante a aula. Vimos que a gente poderia adaptar para os alunos o que era mais fácil de adaptar, então foi assim que a gente chegou na atividade. [...] A gente deu uma olhada na pasta com alguns slides da aula [da disciplina], alguns textos que foram lidos durante o curso [disciplina introdutória de Física de Partículas] e a gente foi selecionando ali o que que era mais fácil e o que era assim, muito essencial para os alunos. E aí a gente foi se baseando realmente nos slides que foram dados na aula e na atividade [realizada na disciplina], no questionário [estudo de caso abordado durante a disciplina] que teve lá em grupo. A gente adaptou para um nível de ensino médio e para o tema que a gente estava querendo abordar (JS durante a Entrevista).

Além disso, o raciocínio pedagógico (considerando o MRPA) pode ser observado ao longo do processo global de elaboração, implementação e reflexão da aula ministrada, como explicitado pelos próprios licenciandos: “Preparar e ministrar uma aula é sempre um momento de reflexão e aprofundamento dos conceitos e, desta forma, foi importante para nosso próprio entendimento da física de partículas”, demonstrando assim uma concordância com a centralidade do processo reflexivo para a dimensão ePCK, presente no cerne MCR do PCK.

Desse modo, inferimos que as motivações para o ensino do conteúdo específico da aula ministrada (Interações, Detecção de Partículas e Diagramas de Feynman) apresentadas pelos licenciandos, em diálogo com a definição de Grossman (1990) para o PCK, podem ser associadas tanto às discutidas realizadas nas etapas preparatórias do minicurso na disciplina quanto à trajetória pessoal de cada licenciando. As articulações dos conhecimentos docentes presentes na Base de Conhecimentos sugerem o desenvolvimento, sobretudo, dos conhecimentos do Currículo e do Pedagógico ao longo da licenciatura, e do Conhecimento do Conteúdo ao longo da disciplina cursada na universidade. Em concordância com a literatura analisada (Fernandez, 2015; Flores-Castro; Campos-Nava; Ramirez-Diaz, 2024; Nilsson; Loughran, 2012; Silva; Martins, 2019), a experiência prática aliada ao processo de reflexão contribuiu para o desenvolvimento do PCK dos licenciandos.

PCK Pessoal (pPCK)

Conseguimos observar que a trajetória acadêmica individual de cada licenciando contribuiu para direcionar as escolhas (compreendidas, nos termos do MCR, como os filtros e amplificadores) realizadas durante a etapa de planejamento, tanto em termos de conhecimentos teóricos quanto de conhecimentos práticos relativos à atividade de ensino. Compreendemos,

ainda, que as disciplinas de formação pedagógica da Licenciatura em Física foram fundamentais para o desenvolvimento do PCK dos futuros professores, para além da experiência prática individual. Inferimos, a partir das reflexões dos licenciandos exemplificadas nos excertos abaixo, que a disciplina cursada impactou fortemente como eles organizaram o conteúdo ministrado, bem como as estratégias instrucionais escolhidas, articulando aspectos trabalhados na disciplina com um repertório externo a ela.

Concordo com a fala deles [outros licenciandos] que ficou uma coisa muito em cima, e acabou se tornando meio tendencioso na forma como a gente explica também, porque acabamos de ser expostos ao conteúdo, então muito da forma, do contexto, acabamos herdando isso da primeira forma como fomos expostos (UR durante a aula de avaliação do minicurso).

Compreendemos que a disciplina, considerando os conteúdos, a forma de abordagem e a proposição das atividades, contribuiu para o desenvolvimento do domínio pPCK de ensino para os temas desenvolvidos, tanto no que se refere à proposição de momentos de discussão sistemática na disciplina acerca das etapas de planejamento e elaboração para a futura ministração das aulas sobre os conteúdos mencionados, quanto no que diz respeito à produção de materiais didáticos durante a atuação profissional fora do ambiente universitário, como apontado pela licencianda VN durante a entrevista:

*Uma coisa que eu penso bastante é sobre como é que esse conteúdo vai parar no livro didático, que a gente antes praticamente não via Física Moderna no livro didático. [...] **Essa foi uma coisa que a disciplina me mostrou bastante, entender que obviamente é necessário.** E trabalhando com livro didático [...] **usei várias coisas da disciplina** que são interessantes você colocar no manual do professor. [...] **Eu acho que foi bastante importante para mim [ter cursado a disciplina], especificamente para poder ir atualizando esses livros e melhorar as aulas de Física Moderna*** (Entrevista, grifo nosso).

A partir dos trechos destacados com grifo nos excertos anteriores, podemos inferir como elementos de cPCK influenciam o desenvolvimento do pPCK. A experiência de cursar a disciplina contribuiu para a construção, por parte dos licenciados, de compreensões relacionadas às justificativas para o ensino, de estratégias instrucionais e de compreensão curricular a partir da interação com o docente, com os pares (outros licenciandos da disciplina) e a pela própria experiência didática vivenciada. Esses aspectos dialogam com a compreensão de Grossman (1990) sobre o PCK, especialmente no que se refere à compreensão curricular e das estratégias instrucionais específicas para o conteúdo. Além disso estão em consonância com a literatura analisada no que se refere ao papel da prática educacional, ao longo da formação inicial, no desenvolvimento do PCK (Flores-Castro; Campos-Nava; Ramirez-Diaz, 2024).

Contexto de Aprendizagem

Partindo do contexto das aulas ministradas pelos licenciandos em Física nesta pesquisa, e a partir do plano de aula e do instrumento CoRe elaborados por eles durante as etapas preparatórias da disciplina, observamos que os licenciandos estabeleceram um perfil esperado de aluno que, segundo suas percepções, “possuem um interesse prévio em Física” (CoRe), sendo que tal expectativa influenciou as escolhas metodológicas e as linguagens adotadas durante as aulas ministradas.

A licencianda **IV** considera que a turma não é homogênea e procura sanar as dificuldades conceituais apresentadas pela maioria dos alunos ao invés de pressupor que tais conhecimentos já façam parte de seus repertórios e prosseguir com o conteúdo previamente planejado, sendo que tal postura revela a importância que ela atribui ao contexto de aprendizagem, mesmo que este comprometa os objetivos inicialmente propostos:

É porque existem escolas com diferentes projetos pedagógicos. Eu acho que é interessante que vocês estejam misturados. Eu acho que é exatamente para vocês compartilharem um pouco dessas experiências. E já que somente uma das pessoas presentes aprendeu um pouco sobre isso, a gente vai falar um pouco, então, de como é que surgem essas outras duas forças que geralmente a gente não estuda no colégio, né (IV durante a exposição dialogada antes da atividade, grifo nosso).

Ressaltamos que os licenciandos declararam que o fato de não conhecerem previamente os alunos para quem ministrariam a aula constituiu uma das principais dificuldades da etapa de planejamento, uma vez que destacaram a importância de conhecer o contexto e os alunos para adequar a aula a ser ministrada. Tal aspecto pode ser observado no seguinte excerto, extraído do registro da licencianda **NT** durante a etapa individual de reflexão:

Foi desafiador dar aula sem conhecer os alunos muito bem, sempre que vou me planejar levo em conta várias características dos alunos para atender seus interesses e necessidades. Nesse caso, era uma turma muito diversificada e que possuíam diversos graus de instruções, apesar de tentar conhecer previamente, só quando me aproximei mais em grupinhos isolados, consegui me sentir conectada a eles em totalidade. Além disso, o auditório tende a forçar ser mais palestra, achávamos que seria na nossa sala de aula que são em grupos e mesas redondas (Registros da etapa individual de reflexão).

A partir desses aspectos, inferimos que o contexto de ensino – com destaque para o formato de minicurso extracurricular e para a organização do auditório – representou o maior desafio enfrentado pelos licenciandos, especialmente no que se refere ao desconhecimento prévio dos alunos e a inadequação do espaço físico para o trabalho em pequenos grupos, sendo tais aspectos os filtros mais relevantes considerados. Sugerimos que esses filtros considerados pelos licenciandos ao articular os conhecimentos presentes na base em uma proposta de ensino específica foram prejudicados pela ausência de informações prévias sobre os alunos, de modo que, mesmo com uma Base de Conhecimentos relativamente desenvolvida, a ação docente pode

ter se mostrado fragilizada. Tal interpretação está de acordo com a compreensão do PCK por Grossman (1990), que inclui o conhecimento dos estudantes como um de seus componentes centrais, sendo que o *ensinar para um grupo específico* tende a ser prejudicado pelo desconhecimento das características desse grupo.

PCK Coletivo (cPCK)

No que se refere ao cPCK, é possível observar, por intermédio dos registros das reflexões dos licenciandos, que a disciplina cursada, com suas etapas de planejamento e discussões educacionais e conceituais epistemologicamente fundamentadas, foi importante para a elaboração das aulas ministradas, como exemplificado no excerto abaixo:

Eu fui tentando induzir o assunto, perguntando “Ah, o que é que você acha disso? Você acha que pode ser assim?” Assim, elas foram entendendo como que é. [...]. E daí eu lembro que me retomou quando eu estava na aula do professor [da disciplina cursada na universidade], que me mostrava um pouco ali o caminho, ou algum dos monitores, aí eu ficava “ai, que legal, entendi, agora faz sentido”. E elas tiveram essa mesma sensação [na aula ministrada] (NT durante a Entrevista).

Os licenciandos incorporaram a narrativa baseada na superação de obstáculos epistemológicos adotada na disciplina, articulando seu conhecimento do conteúdo e adaptando atividades realizadas durante a disciplina ao novo contexto de ensino.

Novamente, entendemos que as etapas preparatórias propostas na disciplina cursada, referentes à preparação da aula posteriormente ministrada, foram fundamentais no que se refere ao processo de elaboração desenvolvido pelos licenciandos, especialmente pelas contribuições dos docentes responsáveis pela disciplina, bem como de seus pares (outros licenciandos matriculados), sendo que tais aspectos contribuíram para o desenvolvimento do PCK, conforme podemos observar neste trecho extraído das respostas do licenciando **EZ**, registrados na etapa individual de reflexão:

*Mas a apresentação do plano de aula para os colegas foi um momento importante, por ser um momento de avaliação externa, onde nos deram alguns retornos e sugestões acerca de pontos que não havíamos pensado. Além disso, foi um momento de olhar mais globalmente o [mini]curso (Registros da etapa individual de reflexão de **EZ**).*

Os licenciandos evidenciaram obstáculos já conhecidos na literatura para o ensino de temas na área de FMC (Milnitsky, 2024; Pietrocola, 2017; Siqueira, 2017), revelando elementos de um cPCK canônico (Silva; Fernandez, 2021), ilustrado pelos seguintes trechos extraídos do CoRe e do Plano de Aula elaborado por eles:

Limitação conceitual, falta de experiência prática e barreiras matemáticas. A necessidade de instrumentação avançada, desafios na visualização e a evolução constante da compreensão científica (CoRe, resposta à pergunta 4 para a ideia “Partículas”).

Porém, por se tratar de conceitos não intuitivos, esta área da Física acaba sendo tratada como algo inacessível ao ensino básico [...] Um dos desafios de ensinar Física Moderna no Ensino Médio é a premissa de que pode ser difícil de compreender para os alunos, bem como a dificuldade na realização de experimentos (Plano de Aula).

Os licenciandos também manifestaram preocupações com “limitações históricas e epistemológicas, que levam ao conceito errado da Física como algo puramente determinista e exato” (CoRe), sugerindo que o conhecimento do conteúdo abordado pelas disciplinas específicas da área de Física ao longo do curso de licenciatura (cPCK local), numa perspectiva epistemológica, foi incorporado, ainda que de forma incipiente.

Considerando essas dificuldades, os licenciandos demonstram preocupação no que se refere à adequação da linguagem científica aos seus alunos durante a aula ministrada, de modo a estabelecer um diálogo com eles e suas ideias prévias, e promover assim um ambiente em sala de aula mais participativo, mesmo considerando os momentos expositivos.

Com isso, inferimos que as etapas preparatórias na disciplina foram fundamentais para o desenvolvimento do PCK dos licenciandos para os conteúdos da aula elaborada e ministrada, contribuindo para a constituição de um cPCK local acerca dos temas desenvolvidos. Além disso, destacamos a importância das disciplinas pedagógicas de ensino de Física ao longo da licenciatura na construção desse cPCK, especialmente no que se refere a estratégias instrucionais e materiais didáticos, de modo que a inserção de uma disciplina que articula discussões conceituais, epistemológicas e educacionais contribuiu, nesta etapa de formação inicial, para a construção do cPCK voltado para temas sem cPCK canônico e epistemologicamente distinto da Física Clássica.

Conhecimento do Currículo

No Plano de Aula, o grupo de licenciandos relacionou o tema proposto para a aula ministrada com as habilidades e competências específicas da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e organizaram a aula em quatro momentos, sendo eles (I) problematização inicial; (II) atividade de investigação; (III) apresentação expositiva-dialogada; e (IV) fechamento, o que permite inferir uma prática baseada nos três momentos pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti (1990) e no ensino por investigação (Carvalho, 2013), ambos presentes no currículo das disciplinas da licenciatura dedicadas ao ensino de Física, como explicitado pela licencianda NT durante a entrevista:

E eu lembro [...] de uma abordagem de ensino de ciências que era tipo tempos de ensino aprendizagem, não sei ao certo como que era, o primeiro era para você causar a curiosidade no aluno, sabe, ver o conhecimento prévio. [...] E daí a gente foi abordando assim. Nos apoiamos tanto no conteúdo de aula [da disciplina], como esses aí de ensino de ciências em si. Então a gente tentou achar que linkar esses dois (NT durante a Entrevista).

Esses referenciais teóricos da área de ensino de física utilizados costumam ser empregados no ensino de Física Clássica na educação básica, e tanto os três momentos pedagógicos quanto o ensino por investigação partem de conhecimentos e experiências prévias dos alunos para construir o conhecimento científico. Ao analisar como os licenciandos transpuseram essas metodologias para o ensino de FMC, considerando inclusive os obstáculos por eles mesmos apontados, nos questionamos se a transposição metodológica ocorreu de forma eminentemente direta, ou seja, se os conhecimentos prévios dos alunos do Ensino Médio seriam suficientes para um bom aproveitamento de uma atividade investigativa inserida nos três momentos pedagógicos.

Sendo assim, entendemos que os licenciandos se apropriaram de ferramentas de ensino de Física abordadas nas disciplinas pedagógicas durante sua formação inicial e as adaptaram, mobilizando seus conhecimentos docentes para o ensino de um tópico específico. Contudo, evidenciam-se dificuldades de propor outras abordagens metodológicas. Parte do motivo pode ser a baixa disponibilidade de materiais voltados ao ensino de FMC relacionado ao conteúdo propriamente dito e de materiais que ofereçam um suporte a abordagens historicamente contextualizadas, como indica a licencianda **IV** durante a entrevista, ao destacar como a disciplina foi fundamental nesse processo:

*Aglutinou muitas coisas numa disciplina só: a parte de ensino, a parte histórica, filosófica, a parte conceitual de fato, e de uma maneira coesa assim. Então fiquei com a sensação de que eu aprendi muita coisa no final. [...] Em outras disciplinas que a gente vê essa parte pedagógica, geralmente a gente se limita muito às temáticas mais da Física Clássica assim. A Física Moderna tem os seus desafios particulares. Então foi muito bom, eu gostei. [...] Precisamos **ter mais espaço no próprio currículo da licenciatura para mais disciplinas que abordem a Física Moderna, para o professor se sentir mais seguro em relação a esses assuntos** (IV na Entrevista, grifo nosso).*

Com isso, inferimos, novamente, que a disciplina fundamentada em aspectos conceituais, epistemológicos e educacionais contribuiu para o desenvolvimento docente no contexto da formação inicial. Sugerimos que o Conhecimento Curricular voltado a conteúdos de Física de Partículas (e outras áreas da FMC) não pode consistir em uma mera transposição do Conhecimento Curricular de Física Clássica, considerando as particularidades epistemológicas significativamente distintas da FMC (Bachelard, 1996). Assim, em consonância com os referenciais adotados (Carlson *et al.*, 2019; Grossman, 1990), evidenciamos que discussões específicas acerca de estratégias instrucionais, metodologias e materiais didáticos adequados a esses conteúdos são fundamentais para o desenvolvimento do PCK para esses mesmos conteúdos.

Conhecimento do Conteúdo

Os licenciandos reconhecem que o conhecimento do conteúdo foi fundamental para a elaboração e implementação da aula: “dominar os conteúdos ajuda a lidar com as questões e perguntas mais específicas [durante a aula] (Reflexão individual **EZ**)”.

As concepções epistemológicas dos licenciandos podem ser mapeadas para as disciplinas do curso de Licenciatura em Física, trazendo uma abordagem Kuhniana (Kuhn, 1982) – nas ideias principais no CoRe “Descoberta Científica” e “Paradigma” – discutida na disciplina Elementos e Estratégias para o Ensino de Física combinada uma abordagem bachelardiana apresentada na disciplina introdutória de Física de Partículas: “Todo o processo de construção das ciências físicas sofreram diversas transformações sociais e históricas, por exemplo a inversão entre a previsão teórica e constatação experimental sofrida no século XX.” (CoRe).

Os licenciandos também compreendem que ministrar aulas de tópicos da ciência em desenvolvimento trouxe dificuldades associadas às possíveis questões que os alunos do Ensino Médio podem formular e de se colocarem numa posição de não saberem as respostas adequadas a tais questões por talvez ainda não haver respostas claramente definidas. Por outro lado, os licenciandos entendem que é relevante trazer o conteúdo mais atualizado da Física e propiciar uma discussão sobre a Natureza da Ciência, reforçando a importância da dimensão epistemológica do conhecimento.

Com isso, inferimos um robusto Conhecimento do Conteúdo ministrado, com algumas fragilidades conceituais, provavelmente fruto do “curto intervalo de tempo” disponível para o estudo e elaboração da proposta e uma apropriação de aspectos epistemológicos mesclando perspectivas vistas em diversas disciplinas da licenciatura como a kuhniana e a bachelardiana. Sugerimos que a discussão epistêmica realizada na disciplina introdutória de Física de Partículas forneceu elementos importantes para o Conhecimento do Conteúdo articulado na elaboração e implementação da aula ministrada pelos licenciandos.

Retomando a fala de **UR**, durante a entrevista, a disciplina forneceu elementos para discutir os conteúdos “usando a linguagem matemática, mas sem o amparo do formalismo matemático. Porque a gente não tem como mostrar conta para eles, a gente mostra interpretações”, de modo que ratificamos que a disciplina fundamentada em dimensões conceituais, epistêmicas e educacionais foi fundamental no desenvolvimento do PCK dos licenciandos para temas de Física de Partículas.

Conhecimento Pedagógico

Destacamos que o grupo buscou construir sua abordagem a partir das respostas dos alunos, relacionando-as diretamente ao conteúdo específico abordado, como prescrito pelas abordagens curriculares adotadas (três momentos pedagógicos e ensino por investigação), levando em consideração a mobilização de referenciais educacionais e da prática desenvolvida nas disciplinas de estágio supervisionado do curso de Licenciatura em Física, além da atuação profissional dos licenciandos em cursinhos populares e monitorias já mencionadas. Esse

aspecto é ilustrado no seguinte trecho, extraído do registro da etapa de reflexão individual da licencianda VN:

[A]s disciplinas de licenciatura me ajudaram muito a ter uma noção melhor de como abordar assuntos mais complicados com os estudantes, além de saber como provocá-los para que interajam e desenvolvam um certo raciocínio, mantendo a curiosidade (Registros da etapa de reflexão individual de VN).

Os licenciandos mostraram-se preocupados com a promoção de um processo de ensino-aprendizagem centrado no aluno, capaz de estimular diferentes habilidades cognitivas, recorrendo a uma variedade de materiais didáticos alinhados às discussões presentes nas disciplinas pedagógicas cursadas ao longo de suas formações iniciais. Esse aspecto pode ser ilustrado por excertos do CoRe, nos quais aparecem os objetivos de ensino como “pensamento crítico”, “Entender como funciona e para que serve” e “Visualizar sua usabilidade”, indicando a compreensão do ensino como espaço de formação de sujeitos capazes de interpretar as diferentes tecnologias e atuarem como cidadãos críticos.

Com isso, inferimos que os licenciandos se apropriaram das discussões realizadas nas disciplinas pedagógicas ao longo da licenciatura, adotando aspectos metodológicos e motivações alinhados à literatura estudada por eles em sua formação como docentes (Bondía, 2002; Perrenoud, 2000; Pozo; Crespo, 2009; Sacristán, 2013; Scarinci; Silva Dias, 2018; Tardif, 2014).

Conhecimento dos estudantes

Os licenciandos demonstram preocupação em definir qual grau de profundidade, precisão conceitual, complexidade e abertura seria adequado ao trabalho com seus alunos, levando em consideração as expectativas que tinham com relação a um grupo de estudantes heterogêneo e aos possíveis pré-requisitos em termos de conhecimento acerca do conteúdo específico de Física de Partículas, como informado pela licencianda IV durante a entrevista:

Começaram a surgir algumas dúvidas relacionadas à problematização e até que ponto é que a gente conseguiria ir com eles e tal. Lembro dessa discussão, do quão aberto poderia ser, qual o apoio que a gente teria que dar. Tanto que a gente discutiu que "Ah, acho que faz sentido, porque vão vir pessoas já interessadas em Física, então talvez não seja uma atividade tão difícil". [...] A gente estava bastante preocupado se eles iam interagir e se a atividade ia ser muito difícil porque a gente estava adaptando uma atividade de sala, que a gente tinha feito [na universidade] (IV na Entrevista).

Esses aspectos foram considerados no planejamento da aula, especialmente na tentativa de dirimir as dificuldades associadas ao formalismo matemático envolvido no conteúdo ministrado, atendendo à expectativa da compreensão matemática dos alunos,

conforme observamos nesse trecho do registro da etapa de reflexão individual do licenciando **UR**:

*Escolhemos trabalhar o tópico de forma bem simplificada e qualitativa, sem apelar para contas e formulações desnecessárias. Isso foi decidido com a expectativa de que os alunos fossem uma amostragem típica de alunos do Ensino Médio. Porém, eles possuíam uma base dos tópicos de Física de Partículas, mostrando grande interesse pelos tópicos abordados e uma certa autodidática (Registros da etapa de reflexão individual de **UR**).*

Com isso, retomamos a dimensão do Contexto de Aprendizagem como principal filtro utilizado pelos licenciandos para a elaboração da aula ministrada, ressaltando as preocupações relativas à linguagem, ao formalismo matemático, concepções epistemológicas e conhecimentos prévios dos alunos. Inferimos, ainda, um conhecimento dos estudantes baseado nas concepções generalizadas acerca do Ensino Médio e dos conteúdos tradicionalmente associados a ele (temas da Física Clássica, marcados por um viés mecanicista), além de concepções sobre o perfil esperado dos alunos e sua cultura (referências a memes e séries televisivas).

Conhecimento da Avaliação

O Conhecimento da Avaliação compreende decisões relativas ao *que*, *como* e *por que* avaliar (Carlson *et al.*, 2019) e aparece explicitamente no Plano de Aula elaborado pelos licenciandos, sendo que podemos observar uma coerência entre essa proposição e a aula efetivamente ministrada por eles, ao assumirem que

[A avaliação] será realizada com base nas respostas dos alunos no roteiro de investigação não se chegaram numa resposta correta, mas se desenvolveram um certo raciocínio e realizaram a atividade e a corrigiram eles mesmos. Também, avaliaremos pela comparação de respostas sobre o que é uma partícula virtual no início e fim da aula (Plano de Aula).

Os licenciandos classificaram no CoRe três das ideias centrais como “complementares para o desenvolvimento do projeto de aula”, e podemos definir por exclusão quatro ideias “não complementares”. Percebemos que, para os conteúdos mais formais – associados ao formalismo matemático e aos conteúdos específicos da Física, tidos como não complementares –, os licenciandos demonstram ter um conhecimento acerca do processo avaliativo mais voltados às práticas tradicionais no ensino de Física, tendo como instrumentos as produções escritas, questões a serem resolvidas (*quizzes*) e listas de exercícios, mesmo que nem todas as propostas descritas no CoRe tenham sido efetivamente implementadas na aula ministrada. Em contrapartida, para conteúdos menos formais, classificados como complementares, as respostas apresentam propostas avaliativas centradas em discussões e conversas.

Esse aspecto pode ser um indício de que os licenciandos podem ter a compreensão de que métodos avaliativos tradicionais são mais adequados para avaliar conceitos formais, enquanto dimensões epistemológicas necessitam de outros instrumentos de avaliação, o que está de acordo com a tradição do ensino de Física, tanto na educação básica quanto nas experiências formativas ao longo das disciplinas da Licenciatura em Física.

Podemos inferir, ainda, que a dificuldade de articular as dimensões epistemológicas e conceituais decorre, em parte, do afastamento entre essas dimensões no ensino e na própria separação entre seus modos avaliativos, como evidenciado no seguinte trecho da entrevista:

*Por exemplo, quando a gente vai falar de alguma coisa histórica, uma divulgação científica, a gente acha que é mais fácil quando a gente está debatendo com o aluno, está fazendo uma discussão, alguma atividade desse jeito. E quando é algo mais conceitual ou algo que envolve uma matemática, que envolve uma lógica, a gente acha que é mais fácil aplicação de exercícios. **Então foi mais assim de um, de um consenso do grupo, e do que a gente viu ao longo da nossa vida mesmo** (JS na Entrevista, grifo nosso).*

Também inferimos que o *feedback* em tempo real acerca da compreensão dos alunos sobre o conteúdo que estava sendo ministrado foi importante para os licenciandos, que reconheceram ser possível avaliar, mesmo que de forma superficial, a aprendizagem dos alunos sem a aplicação de instrumentos formais de avaliação, especialmente diante do tempo reduzido disponível. Durante a aula de avaliação do minicurso na disciplina cursada, os licenciandos consideraram que, a partir das avaliações realizadas por intermédio das perguntas e contribuições dos alunos a estas, os objetivos da aula foram atingidos. Contudo, reconheceram que, para uma compreensão mais profunda e individualizada da aprendizagem dos alunos, seria necessário outro tipo de instrumento avaliativo, sugerindo como alternativa a aplicação de uma avaliação escrita tradicional, sendo que tal aspecto pode indicar que os licenciandos trazem de suas trajetórias junto às disciplinas de formação durante a graduação, a concepção de que a aprendizagem de conteúdos físicos é melhor aferida por intermédio de tal instrumento.

Com isso, inferimos um Conhecimento da Avaliação pautado principalmente nas experiências prévias dos licenciandos enquanto alunos, seja na escola, seja na graduação, sugerindo uma fragilidade em seus repertórios acerca de *como e por que* avaliar. Interpretamos tal aspecto como uma possível consequência da ausência de discussões mais direcionadas a esse tema nas disciplinas de ensino e do próprio afastamento entre as dimensões epistemológicas e conceituais nas disciplinas de Física. Consideramos pertinente que pesquisas futuras investiguem aspectos relacionados à avaliação em temas de FMC, buscando fortalecer também essa dimensão da Base de Conhecimentos.

V. Considerações finais

A análise da experiência didática de elaboração, implementação e reflexão vivenciada pelo grupo de licenciandos investigados nos permitiu inferir que suas motivações e práticas foram pautadas principalmente nos conhecimentos do Conteúdo, Curricular e Pedagógico. Entendemos que os participantes se apoiaram, sobretudo, em sua Base de Conhecimentos e nas experiências formativas proporcionadas pelas aulas da disciplina cursada na universidade, conforme evidenciado pelo tipo de atividade escolhida, pelo domínio do conteúdo e pelas justificativas apresentadas para suas escolhas – os filtros e amplificadores aplicados, conforme indicado pelo MCR. Assim, reforçamos que a disciplina pode favorecer a articulação entre a Base de Conhecimentos, desenvolvida principalmente por meio da instrução formal durante a graduação, e situações reais de ensino, oferecendo assim suporte ao desenvolvimento do PCK de professores em formação inicial.

Concluimos que o PCK dos participantes considerando as dimensões do ePCK, pPCK e cPCK para os tópicos de Física de Partículas abordados foi desenvolvido por meio da experiência prática durante a disciplina cursada, fortemente amparada pela experiência de ministrar um minicurso com fundamentação conceitual, epistemológica e educacional coesa – aspecto explicitado pelos próprios licenciandos. Tal processo possibilitou que os participantes adaptassem os materiais do curso para uso em aulas ao nível de Ensino Médio, articulando outros domínios da Base de Conhecimentos.

Além disso, sugerimos que o desenvolvimento dos Conhecimentos Docentes para os tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) precisa ser ampliado ao longo de toda a formação inicial, especialmente no que se refere aos conhecimentos Curricular e da Avaliação, pois esses foram os que se mostraram menos desenvolvidos e os mais difíceis de articular durante o processo de elaboração e implementação das aulas ministradas por eles. Nesse sentido, repensar as disciplinas de FMC na formação inicial para incluir discussões conceituais, epistemológicas e educacionais de tópicos específicos demonstrou ser uma estratégia promissora para apoiar o desenvolvimento dos Conhecimentos Docentes e do PCK, favorecendo, uma inserção mais qualificada desses conteúdos na educação básica.

Referências

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda, 1996.

BONDÍA, L. Notas sobre a experiência e o saber da experiência. **Revista Brasileira de Educação**, v. 19, 2002.

CARLSON, J. *et al.* A process and structure for challenging current ideas, provoking future work, and considering new directions. *In: Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. New York: Routledge, 2015.

CARLSON, J. *et al.* The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. *In: HUME, A; COOPER, R.; BOROWSKI, A (Orgs.). Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 77-94.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage, 2013.

COCHRAN, K. F.; DERUITER, J. A.; KING, R. A. Pedagogical content knowing: An integrative model for teacher preparation. **Journal of Teacher Education**, v. 44, p. 263-272, 1993.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

FERNANDEZ, C. Revisitando a base e o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) de professores de ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. 2, p. 500-528, ago. 2015.

FLORES-CASTRO, E.; CAMPOS-NAVA, M.; RAMIREZ-DIAZ, M. H. The Construction of Knowledge for the Teaching of Sciences: A Reflection Seen from the Pedagogical Content Knowledge (Pck). **Kurdish Studies**, v. 12, 2024.

FREIRE, L. I. F.; FERNANDEZ, C. Professores novatos de química e o desenvolvimento do PCK de oxidorredução: influências da formação inicial. **Educación Química**, v. 25, n. 3, p. 312-324, jun. 2014.

GARCIA, J. O.; CAMILLO, J. O campo de pesquisa em ensino de física e seus enunciados: o caso da física moderna e contemporânea. *In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA*, XX, 2024, Recife. **Anais...** Recife: 2024.

GESS-NEWSOME, J. A Model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. *In: Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. New York: Routledge, 2015.

GOES, L. F.; NOGUEIRA, K. S. C.; FERNANDEZ, C. A importância dos estágios supervisionados no desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo. **Olhar de Professor**, v. 21, n. 2, p. 326-335, 2018.

GOULART, G. S.; LEONEL, A. A. Revisão da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio sob a ótica da TAS: problemáticas emergentes a partir de eventos brasileiros de ensino de física. **Revista Dynamis**, v. 28, n. 1, p. 231, 30 mar. 2022.

GROSSMAN, P. L. **The making of a teacher: teacher knowledge and teacher education**. Nova Iorque: Teacher's College Press, 1990.

HUME, A.; COOPER, R.; BOROWSKI, A. (Orgs.). **Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science**. Singapore: Springer Singapore, 2019.

KIND, V.; CHAN, K. K. H. Resolving the amalgam: connecting pedagogical content knowledge, content knowledge and pedagogical knowledge. **International Journal of Science Education**, v. 41, n. 7, p. 964-978, 3 maio 2019.

KORTHAGEN, F. A. J. A prática, a teoria e a pessoa na formação de professores. **Educação, Sociedade e Culturas**, v. 36, p. 141-158, 2012.

KUCKARTZ, U.; RÄDIKER, S. **Analyzing Qualitative Data with MAXQDA: Text, Audio, and Video**. Cham: Springer International Publishing, 2019.

KUHN, T. **Estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1982.

KULGEMEYER, C. *et al.* Professional knowledge affects action-related skills: The development of preservice physics teachers' explaining skills during a field experience. **Journal of Research in Science Teaching**, 2020.

LEAL, S. H.; NOVAIS, R. M.; FERNANDEZ, C. Conhecimento pedagógico do conteúdo de “estrutura da matéria” de uma professora de química experiente em aulas de química geral. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 3, p. 725-742, set. 2015.

LOUGHRAN, J.; BERRY, A.; MULHALL, P. **Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge**. Rotterdam: Sense Publishers, 2006.

MAGNUSSON, S.; KRAJCIK, J.; BORKO, H. Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. *In: GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. (Orgs.). Examining Pedagogical Content Knowledge*. Science & Technology Education Library. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. v. 6 p. 95-132.

MARCON, D.; GRAÇA, A. B. dos S.; NASCIMENTO, J. V. do. Reinterpretação da estrutura teórico-conceitual do conhecimento pedagógico do conteúdo. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 25, n. 2, p. 323-339, jun. 2011.

MAYRING, P. **Qualitative Content Analysis**. Klagenfurt, Austria: [S.n.].

MENDES, L. L. *et al.* Perfil acadêmico dos professores de ciências naturais do ensino fundamental II na zona urbana da cidade de Coelho Neto, Maranhão, Brasil. *In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO*, VI, Fortaleza, 2019. **Anais...** Fortaleza: 2019.

MILNITSKY, R. **A elaboração curricular orientada por Objetivos-Obstáculos: implementando uma disciplina de Física de Partículas em um contexto de Licenciatura em Física**. Tese. 2024 (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

MONTENEGRO, V. L. dos S.; FERNANDEZ, C. Processo reflexivo e desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo numa intervenção formativa com professores de Química. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 251-275, abr. 2015.

NILSSON, P.; LOUGHRAN, J. Exploring the Development of Pre-Service Science Elementary Teachers' Pedagogical Content Knowledge. **Journal of Science Teacher Education**, v. 23, n. 7, p. 699-721, nov. 2012.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da Produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

PERRENOUD, P. **10 novas competências para ensinar: convite à viagem**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

PIETROCOLA, M. Curricular innovation and didactic-pedagogical risk management. *In: Crossing the border of the traditional science curriculum: innovative teaching and learning in basic science education*. Bold Visions in educational research. 1. ed. The Netherlands: Sense Publishers, 2017. v. 56.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de Ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SACRISTÁN, J. G. **Saberes e incertezas sobre o currículo**. São Paulo: Penso, 2013.

SALOMÃO, J. P. Q. C.; ARAUJO, R. R. de. Estado da questão sobre a formação inicial de professores para o ensino de Física Moderna e Contemporânea. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 459-478, 25 mar. 2021.

SANTOS, E.; FREIRE, L. Planejamento e aprendizagem docente durante o estágio curricular supervisionado. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, p. 263, 2017.
DOI: 10.3895/actio.v2n1.6767.

SCARINCI, A. L.; SILVA DIAS, V. **Reflexão e a Prática no Ensino Médio - Física**. São Paulo: Blucher, 2018.

SHULMAN, L. Knowledge and teaching: foundations of the new reform. **Harvard Educational Review**, v. 57, n. 1, p. 1-22, 1987.

SHULMAN, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SILVA, A. N.; FERNANDEZ, C. Um professor de química, um conteúdo e dois contextos escolares: do PCK pessoal para o PCK em ação. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências** Belo Horizonte, v. 23, p. e26404, 2021.

SILVA, B. V. da C.; MARTINS, A. F. P. O conhecimento pedagógico do conteúdo referente ao tema Natureza da Ciência na formação inicial de professores de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 735-768, dez. 2019.

SILVA, Y. A. dos R.; MONTANHA, L.; SIQUEIRA, M. R. P. Aceleradores e detectores de partículas no ensino médio: uma sequência de ensino-aprendizagem. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 751-781, ago. 2020.

SIQUEIRA, C. de C.; BARCELLOS, M.; REGO, S. C. R. Física Moderna e Contemporânea: uma análise das finalidades. *In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA*, XX, 2024, Recife. **Anais...** Recife: 2024.

SIQUEIRA, M. R. P. Elementary particle physics for high schools. *In: Crossing the border of the traditional science curriculum: innovative teaching and learning in basic science education. Bold Visions in educational research.* 1. ed. The Netherlands: Sense Publishers, 2017. v. 56.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional.** 16. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

TESTONI, L. A. **Caminhos criativos e elaboração de conhecimentos pedagógicos de conteúdo na formação inicial do professor de física.** 2013. (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).