

**MODELO PEDAGÓGICO DA
CULTURA MAKER PARA O
ENSINO DE CIÊNCIAS:
PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO
DE UMA PRÁTICA
INVESTIGATIVA
INTEGRANDO CIÊNCIAS E
COMPUTAÇÃO**

**THE MAKER CULTURE PEDAGOGICAL MODEL FOR SCIENCE EDUCATION:
PROPOSING AND VALIDATING AN INVESTIGATIVE PRACTICE
INTEGRATING SCIENCE AND COMPUTING**

Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias, Engenharias • 12/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/785974946](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/785974946)

Sollyvan Rangel Mazziolli¹

Éder Júnior Carlos de Carvalho²

Frederico da Silva Borges³

Carlos Roberto Pires Campos⁴

Marize Lyra Silva Passos⁵

Márcia Gonçalves de Oliveira⁶

RESUMO

A Cultura Maker tem sido incorporada ao contexto educacional como estratégia para promover aprendizagem ativa, investigação e desenvolvimento de competências relacionadas à resolução de problemas. Entretanto, ainda são escassas propostas que organizem seus princípios em um modelo pedagógico sistematizado para o ensino de Ciências. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo propor e analisar o Modelo Pedagógico da Cultura Maker para o Ensino de Ciências (MPCM-EC), estruturado para orientar práticas investigativas fundamentadas em fenômenos contextualizados. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza aplicada, com objetivos exploratórios e descritivos, desenvolvida por meio de um estudo de caso em uma escola pública do município de Mantenópolis, Espírito Santo. O modelo foi implementado em uma sequência didática sobre irrigação automatizada na produção cafeeira, organizada em três momentos (pré-campo, campo e pós-campo), articulando investigação científica, pensamento computacional, construção de protótipos e avaliação formativa. A produção dos dados envolveu observação participante, diário de campo, registros fotográficos, produções dos estudantes e entrevistas, sendo analisada por meio da Análise de Conteúdo, com triangulação das diferentes fontes de evidência. Os resultados evidenciam que o MPCM-EC favoreceu a organização das atividades investigativas, fortaleceu o protagonismo estudantil, ampliou a mediação docente e promoveu a integração entre conhecimentos científicos, computacionais e tecnológicos em torno de um fenômeno real. Como principal contribuição, o estudo apresenta um modelo pedagógico estruturado para orientar práticas fundamentadas na Cultura Maker, oferecendo um referencial teórico-metodológico que pode subsidiar novas experiências no ensino de Ciências e em contextos interdisciplinares.

Palavras-chave: Cultura Maker; Ensino de Ciências; Ensino por Investigação; Pensamento Computacional; Modelo Pedagógico.

ABSTRACT

Abstract: Maker Culture has increasingly been incorporated into educational settings as an approach to promote active learning, inquiry, and the development of problem-solving skills. However, there is still a lack of pedagogically structured frameworks that systematically organize its principles for Science Education. In this context, this study aimed to propose and analyze the Maker Culture Pedagogical Model for Science Education (MPCM-SE), designed to guide inquiry-based practices grounded in contextualized phenomena. The research adopted a qualitative, applied, exploratory, and descriptive approach through a case study conducted in a public school in Mantenópolis, Espírito Santo, Brazil. The model was implemented through a teaching sequence focused on automated irrigation in coffee production, organized into three stages (pre-field, field, and post-field), integrating scientific inquiry, computational thinking, prototype development, and formative assessment. Data were collected through participant observation, field notes, photographic records, students' productions, and interviews, and were analyzed using Content Analysis with triangulation of multiple sources of evidence. The findings indicate that the MPCM-SE supported the organization of inquiry-based activities, strengthened student agency, enhanced teacher mediation, and promoted the integration of scientific, computational, and technological knowledge around a real-world phenomenon. As its main contribution, the study presents a structured pedagogical model to support Maker Culture-based educational practices, offering a theoretical and methodological framework that may inform future experiences in Science Education.

and interdisciplinary teaching contexts.

Keywords: Maker Culture; Science Education; Inquiry-Based Learning; Computational Thinking; Pedagogical Model.

1. INTRODUÇÃO

Os desafios impostos à Educação Básica pela sociedade contemporânea têm ampliado a necessidade de práticas pedagógicas capazes de superar a fragmentação do conhecimento e aproximar os conteúdos escolares de problemas presentes na realidade dos estudantes. Ao discutir a alfabetização científica, Bybee (2006) argumenta que o ensino de Ciências deve preparar os estudantes para compreender fenômenos, analisar evidências e tomar decisões fundamentadas em situações que extrapolam os limites da sala de aula.

Em consonância com essa perspectiva, Carvalho (2018) defende que a aprendizagem científica se fortalece quando os estudantes assumem papel ativo na investigação de problemas, elaborando hipóteses, produzindo evidências e construindo explicações para os fenômenos estudados.

Nesse contexto, diferentes metodologias ativas têm sido incorporadas ao Ensino de Ciências com o objetivo de tornar a aprendizagem mais participativa e contextualizada. Entre elas, a Cultura *Maker* vem ocupando posição de destaque por incentivar que os estudantes aprendam por meio da criação, experimentação e aperfeiçoamento de artefatos.

Papert (1993) sustenta que a construção de objetos favorece processos de reflexão sobre o próprio conhecimento, uma vez que torna visíveis as ideias elaboradas pelos estudantes. Blikstein (2013)

amplia essa compreensão ao afirmar que o potencial educativo da Cultura *Maker* não reside na tecnologia utilizada, mas nas experiências de aprendizagem organizadas em torno da resolução de problemas. Da mesma forma, Resnick (2017) argumenta que processos iterativos de imaginar, criar, experimentar, compartilhar e refletir constituem elementos essenciais para o desenvolvimento da aprendizagem criativa.

Embora essas contribuições evidenciem o potencial da Cultura *Maker* para a educação, sua incorporação ao Ensino de Ciências ainda apresenta desafios importantes. Blikstein (2018) observa que ambientes ricos em recursos tecnológicos podem reproduzir práticas tradicionais quando a construção do artefato se transforma no objetivo principal da atividade.

Nessa situação, sensores, robôs, programação e fabricação digital passam a representar um fim em si mesmos, enquanto a investigação do fenômeno, a produção de evidências e a construção de explicações científicas assumem papel secundário. Essa limitação desloca a discussão da disponibilidade de tecnologias para a necessidade de uma organização pedagógica capaz de atribuir significado científico às práticas *maker*.

Essa discussão também encontra respaldo nas políticas educacionais brasileiras. A Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018) estabelece que o Ensino de Ciências deve favorecer a investigação, a argumentação, a resolução de problemas e a contextualização da aprendizagem. Complementarmente, a BNCC Computação (Brasil, 2022) propõe a integração do Pensamento Computacional, do Mundo Digital e da Cultura Digital às diferentes áreas do conhecimento, reforçando a necessidade de práticas que

articulem Computação e Ciências de forma significativa. Em direção semelhante, a Sociedade Brasileira de Computação (2025), ao apresentar os Grandes Desafios da Educação em Computação para o período de 2025 a 2035, destaca como prioridade o desenvolvimento de recursos pedagógicos e de estratégias formativas que favoreçam essa integração na Educação Básica.

Apesar desses avanços teóricos e normativos, observa-se que a literatura ainda dedica maior atenção aos resultados obtidos com a utilização da Cultura *Maker* do que aos princípios que orientam sua organização pedagógica.

Diversos estudos descrevem experiências relacionadas à robótica, à programação, à fabricação digital ou ao desenvolvimento do Pensamento Computacional, porém ainda são limitadas as propostas que explicitem como estruturar práticas fundamentadas na Cultura *Maker* para favorecer, simultaneamente, a investigação de fenômenos contextualizados, a mobilização integrada de conhecimentos científicos e computacionais e a construção de explicações científicas.

Essa lacuna evidencia que o desafio não está apenas em utilizar a Cultura *Maker* na escola, mas em compreender como organizá-la pedagogicamente para potencializar a aprendizagem científica.

Com esse propósito, a presente pesquisa foi desenvolvida a partir da automação da irrigação na cafeicultura, fenômeno escolhido por sua relevância científica, tecnológica e social no contexto em que o estudo foi realizado.

A irrigação automatizada envolve questões relacionadas ao uso racional da água, ao monitoramento das condições do solo e à

utilização de tecnologias digitais para tomada de decisão, demandando a articulação de conhecimentos provenientes da Biologia, da Física, da Matemática e da Computação. A escolha desse contexto permitiu analisar como a Cultura *Maker* pode ser organizada para que a construção de protótipos ultrapasse sua dimensão técnica e contribua efetivamente para a compreensão do fenômeno investigado.

As análises decorrentes dessa experiência conduziram à proposição do Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC). Diferentemente de modelos centrados na adoção de recursos tecnológicos ou na aplicação isolada de metodologias ativas, a proposta apresentada neste artigo sistematiza princípios de organização pedagógica voltados à articulação entre Cultura *Maker*, investigação de fenômenos contextualizados, integração entre Ciências e Computação e construção de explicações científicas.

Sua contribuição consiste em oferecer uma arquitetura pedagógica que possa orientar o planejamento, a implementação e a análise de práticas *maker* no Ensino de Ciências. Diante desse contexto, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: como organizar pedagogicamente uma prática fundamentada na Cultura *Maker* para favorecer a investigação de um fenômeno contextualizado, a mobilização integrada de conhecimentos científicos e computacionais e a construção de explicações científicas?

Para responder a essa questão, o estudo tem como objetivo propor e analisar o Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC), sistematizando princípios de organização pedagógica para práticas fundamentadas na Cultura *Maker* que promovam a investigação de fenômenos contextualizados, a

integração entre Ciências e Computação e a construção de explicações científicas, a partir da análise de uma intervenção sobre automação da irrigação na cafeicultura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A organização pedagógica de práticas fundamentadas na Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências demanda mais do que a incorporação de recursos tecnológicos ou a adoção de metodologias ativas de forma isolada.

Conforme discutido na introdução, a literatura evidencia o potencial da Cultura *Maker* para promover aprendizagem prática, criatividade e protagonismo estudantil, mas também aponta que esses resultados dependem da forma como as atividades são planejadas, desenvolvidas e articuladas aos objetivos educacionais.

Assim, compreender como estruturar práticas capazes de favorecer a investigação de fenômenos, integrar conhecimentos científicos e computacionais e promover a construção de explicações científicas exige o diálogo entre diferentes referenciais teóricos. Nesse sentido, este referencial não apresenta teorias de forma independente, mas analisa as contribuições de cada uma delas para responder à questão central desta pesquisa.

Inicialmente, discute-se como a literatura compreende a organização pedagógica da Cultura *Maker* no Ensino de Ciências. Em seguida, analisa-se o papel dos fenômenos contextualizados na aprendizagem científica, a integração entre Ciências e Computação e, por fim, a convergência desses referenciais na construção dos princípios que fundamentam o modelo pedagógico proposto.

2.1. A Organização Pedagógica da Cultura Maker no Ensino de Ciências

A incorporação da Cultura *Maker* aos diferentes níveis de ensino tem ampliado as discussões sobre novas formas de organizar os processos de ensino e aprendizagem. Entretanto, reduzir essa abordagem à utilização de impressoras 3D, kits de robótica, placas programáveis ou outras tecnologias digitais significa desconsiderar seus fundamentos pedagógicos.

Papert (1993) argumenta que o potencial educativo da construção de artefatos não decorre do objeto produzido, mas do processo intelectual envolvido em sua concepção, construção, análise e reformulação. Nessa perspectiva, o conhecimento é construído quando o estudante transforma ideias em objetos compartilháveis, capazes de favorecer a reflexão sobre sua própria aprendizagem.

Ao ampliar essa discussão, Blikstein (2013) destaca que a Cultura *Maker* representa uma evolução das ideias construcionistas propostas por Papert, aproximando a aprendizagem de contextos autênticos de resolução de problemas. Para o autor, o acesso às tecnologias digitais amplia as possibilidades de criação, mas não altera, por si só, a qualidade da aprendizagem. O elemento determinante continua sendo a forma como as experiências são organizadas pelo professor para promover investigação, reflexão, colaboração e tomada de decisões fundamentadas.

Essa compreensão também é compartilhada por Martinez e Stager (2013), ao defenderem que ambientes *maker* devem ser concebidos como espaços de produção de conhecimento, e não apenas de fabricação de objetos. Segundo os autores, construir um artefato

torna-se pedagogicamente relevante quando sua elaboração exige que os estudantes formulem hipóteses, analisem alternativas, testem soluções e revisem continuamente suas próprias ideias. O foco desloca-se, portanto, da execução técnica para os processos cognitivos mobilizados durante o desenvolvimento da atividade.

Na mesma direção, Resnick (2017) afirma que a aprendizagem criativa ocorre em ciclos contínuos de imaginar, criar, brincar, compartilhar, refletir e reimaginar. Esses ciclos evidenciam que aprender envolve processos iterativos de construção e reconstrução do conhecimento, nos quais erros, testes e reformulações deixam de representar falhas para constituírem oportunidades de aprendizagem. Sob essa perspectiva, a construção de protótipos passa a assumir função mediadora do desenvolvimento intelectual, e não um objetivo final da prática educativa.

Apesar dessas contribuições, a literatura também evidencia limitações recorrentes na implementação da Cultura *Maker* em contextos escolares. Blikstein (2018) observa que muitas experiências permanecem centradas na construção do artefato ou na utilização de tecnologias emergentes, produzindo atividades altamente motivadoras, porém com reduzida intencionalidade pedagógica.

Nessas situações, frequentemente os estudantes conseguem concluir projetos tecnicamente funcionais sem, necessariamente, compreender os fenômenos científicos envolvidos ou justificar, com base em evidências, as decisões adotadas durante o processo de construção.

Essa crítica evidencia uma mudança importante de perspectiva. O principal desafio deixa de ser disponibilizar recursos tecnológicos e

passa a consistir na definição de uma organização pedagógica capaz de orientar a aprendizagem durante todas as etapas da atividade *maker*.

Em outras palavras, a literatura indica que o potencial educativo dessa abordagem depende menos dos materiais utilizados e mais da intencionalidade presente no planejamento das experiências, na mediação docente e na articulação entre construção, investigação, argumentação e reflexão crítica.

Essa compreensão aproxima-se das discussões sobre o conceito de arquitetura pedagógica, proposto por Carvalho, Nevado e Menezes (2007), segundo os quais ambientes de aprendizagem eficazes resultam da articulação entre objetivos educacionais, estratégias metodológicas, recursos disponíveis, formas de interação e processos avaliativos. Sob essa perspectiva, uma prática *maker* não pode ser compreendida como uma sequência de atividades práticas isoladas, mas como uma organização intencional de elementos pedagógicos orientados para determinados objetivos de aprendizagem. Essa aproximação amplia a discussão sobre Cultura *Maker* ao deslocar o foco dos recursos tecnológicos para a estrutura pedagógica que sustenta sua utilização.

Dessa forma, observa-se um consenso entre diferentes autores de que a construção de artefatos, embora constitua elemento característico da Cultura *Maker*, não é suficiente para garantir aprendizagens significativas.

A contribuição dessa abordagem depende da existência de uma organização pedagógica que atribua sentido às atividades desenvolvidas, integre conhecimentos de diferentes áreas e favoreça

processos contínuos de investigação, reflexão e construção de explicações. Entretanto, permanece em aberto, na literatura, como estruturar essa organização pedagógica quando o objetivo é promover a aprendizagem científica por meio da Cultura *Maker*.

Essa lacuna conduz à discussão apresentada na próxima seção, dedicada ao papel dos fenômenos contextualizados como eixo organizador da aprendizagem no Ensino de Ciências.

2.2. O Fenômeno Como Eixo Organizador da Aprendizagem Científica

A aprendizagem científica não se limita à aquisição de conceitos ou à memorização de explicações produzidas pela comunidade científica. Conforme argumenta Bybee (2006), o ensino de Ciências deve possibilitar que os estudantes utilizem conhecimentos científicos para interpretar situações presentes em seu cotidiano, analisar evidências e tomar decisões fundamentadas diante de problemas reais. Nessa perspectiva, os conteúdos deixam de constituir um fim em si mesmos e passam a representar instrumentos para compreender fenômenos observáveis na realidade.

Essa compreensão aproxima-se das contribuições de Dewey (1959), para quem a aprendizagem adquire significado quando surge da necessidade de compreender situações vivenciadas pelos próprios estudantes. Segundo o autor, a experiência educativa torna-se mais consistente quando problemas autênticos despertam curiosidade, exigem investigação e mobilizam diferentes formas de pensamento para sua resolução. Assim, o ponto de partida da aprendizagem não deve ser a transmissão de respostas prontas, mas a problematização

de situações que provoquem questionamentos e demandem explicações.

Ao discutir especificamente o Ensino de Ciências, Carvalho (2018) defende que a aprendizagem científica se desenvolve por meio da investigação de problemas que levem os estudantes a levantar hipóteses, coletar informações, analisar evidências, construir argumentos e comunicar conclusões. Entretanto, a autora ressalta que essas ações somente adquirem significado quando estão relacionadas à compreensão de um fenômeno, e não à execução mecânica de procedimentos experimentais. Dessa forma, investigar não significa apenas realizar experimentos, mas produzir explicações fundamentadas para compreender como e por que determinado fenômeno ocorre.

Essa perspectiva também é compartilhada por Pedaste et al. (2015) ao sistematizar as principais fases do Ensino por Investigação. Os autores identificam que processos investigativos envolvem a orientação para o problema, a formulação de hipóteses, a exploração, a interpretação dos dados e a construção de conclusões. Embora essas etapas possam assumir diferentes configurações metodológicas, todas convergem para um elemento comum: a necessidade de compreender um fenômeno ou responder a uma questão cientificamente relevante.

Sob essa perspectiva, o fenômeno deixa de representar apenas um contexto ilustrativo para assumir a função de eixo organizador da aprendizagem. Em vez de utilizar situações do cotidiano apenas como estratégia de motivação, o planejamento pedagógico passa a estruturar-se em torno da necessidade de compreender determinado fenômeno, exigindo que os estudantes mobilizem

conceitos científicos, formulem hipóteses, produzam evidências e construam explicações fundamentadas.

Essa mudança altera significativamente o papel das atividades práticas, que deixam de buscar exclusivamente a confirmação de conhecimentos previamente apresentados para constituírem espaços de investigação e produção de conhecimento. No contexto da Cultura *Maker*, essa reorganização assume importância ainda maior. A construção de protótipos pode favorecer processos investigativos quando o artefato passa a representar uma ferramenta para compreender o comportamento de um fenômeno e testar explicações científicas.

Nessa condição, sensores, atuadores, placas programáveis e demais recursos tecnológicos deixam de ser utilizados apenas pela novidade tecnológica e passam a integrar o processo investigativo como instrumentos de observação, coleta de dados, experimentação e validação de hipóteses.

Essa perspectiva amplia a função pedagógica dos artefatos *maker*. O objetivo da construção deixa de ser demonstrar habilidades técnicas ou concluir um projeto funcional e passa a contribuir para responder questões formuladas durante a investigação. O protótipo transforma-se, assim, em um mediador entre teoria e prática, permitindo que os estudantes confrontem suas hipóteses com evidências produzidas durante o desenvolvimento da atividade. Consequentemente, a aprendizagem passa a resultar da interação entre construção, experimentação, análise crítica e elaboração de explicações científicas.

Entretanto, compreender um fenômeno contextualizado frequentemente exige a mobilização de conhecimentos que ultrapassam os limites de uma única disciplina escolar. Fenômenos presentes no cotidiano, especialmente aqueles relacionados aos desafios científicos e tecnológicos contemporâneos, demandam a integração de diferentes áreas do conhecimento.

Essa necessidade conduz à discussão apresentada na próxima seção, dedicada à articulação entre Ciências e Computação como elemento estruturante de práticas pedagógicas fundamentadas na Cultura *Maker*.

2.3. A Integração Entre Diferentes Disciplinas na Investigação dos Fenômenos

Os fenômenos investigados pela Ciência contemporânea caracterizam-se por elevado grau de complexidade e pela interação entre processos físicos, biológicos, químicos, matemáticos e tecnológicos.

Questões relacionadas às mudanças climáticas, ao monitoramento ambiental, à agricultura de precisão, às cidades inteligentes e à automação de processos ilustram situações em que compreender um fenômeno exige interpretar dados, modelar sistemas, analisar variáveis e utilizar tecnologias digitais para apoiar a tomada de decisões. Nesse contexto, a aprendizagem científica passa a demandar competências que extrapolam os limites tradicionais das disciplinas escolares.

Ao discutir essa transformação, Wing (2006) argumenta que o Pensamento Computacional constitui uma forma de organizar o raciocínio para resolver problemas, estruturar informações e

compreender sistemas complexos, não se restringindo ao desenvolvimento de programas de computador.

Posteriormente, Wing (2008) amplia essa compreensão ao defender que tais competências representam uma habilidade fundamental para todos os cidadãos, assim como a leitura, a escrita e o raciocínio matemático. Dessa forma, a Computação deixa de ser entendida apenas como um campo técnico e passa a integrar processos mais amplos de investigação, análise e resolução de problemas.

No contexto brasileiro, essa perspectiva foi incorporada à Base Nacional Comum Curricular da Computação, que estabelece a necessidade de desenvolver competências relacionadas ao Pensamento Computacional, ao Mundo Digital e à Cultura Digital ao longo de toda a Educação Básica (Brasil, 2022). O documento enfatiza que esses conhecimentos não devem constituir componentes isolados do currículo, mas articular-se às diferentes áreas do conhecimento para ampliar a capacidade dos estudantes de compreender fenômenos, produzir soluções e utilizar tecnologias de forma crítica, ética e criativa.

Essa orientação aproxima-se das recomendações apresentadas pela Sociedade Brasileira de Computação (2025) ao definir os Grandes Desafios da Educação em Computação para o período de 2025 a 2035. Entre os desafios identificados, destaca-se a necessidade de desenvolver estratégias pedagógicas capazes de integrar a computação aos demais componentes curriculares, superando abordagens centradas exclusivamente na aprendizagem de linguagens de programação ou no domínio de ferramentas tecnológicas.

Segundo o documento, essa integração representa condição essencial para formar estudantes aptos a compreender e atuar diante dos desafios científicos, sociais e tecnológicos da contemporaneidade.

Sob essa perspectiva, a integração entre Ciências e Computação não significa acrescentar conteúdos computacionais às aulas de Ciências, nem utilizar recursos digitais apenas para tornar as atividades mais atrativas. Trata-se de reconhecer que muitos fenômenos contemporâneos envolvem processos cuja compreensão depende da coleta, organização, processamento e interpretação de informações produzidas por sistemas digitais.

Assim, conceitos científicos e computacionais deixam de ser ensinados separadamente e passam a constituir conhecimentos complementares mobilizados para compreender um mesmo fenômeno. Essa compreensão torna-se evidente em contextos como a automação da irrigação agrícola.

A análise das necessidades hídricas das plantas envolve conhecimentos relacionados à fisiologia vegetal, às propriedades físicas do solo, às condições climáticas e ao ciclo da água. Entretanto, a tomada de decisão sobre o momento e a quantidade de irrigação também depende da utilização de sensores, algoritmos, dispositivos de controle e sistemas automatizados capazes de monitorar continuamente essas variáveis. Assim, como o funcionamento dos sensores e outros equipamentos utilizados, depende de conhecimentos físicos. Nessa situação, Ciências e Computação deixam de representar campos independentes do conhecimento para constituírem dimensões complementares da investigação do fenômeno.

Consequentemente, práticas fundamentadas na Cultura *Maker* podem favorecer essa integração ao possibilitar que os estudantes construam protótipos capazes de representar, monitorar ou intervir em fenômenos reais.

Entretanto, conforme discutido nas seções anteriores, essa potencialidade depende da existência de uma organização pedagógica que articule intencionalmente a construção do artefato, a investigação científica e a mobilização integrada de conhecimentos provenientes de diferentes áreas. A simples utilização de sensores, placas programáveis ou ambientes de programação não garante, por si só, a compreensão do fenômeno investigado.

A convergência entre os referenciais discutidos até este ponto evidencia que a contribuição da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências não reside apenas na construção de protótipos, na realização de atividades investigativas ou na incorporação da Computação ao currículo. O potencial educativo emerge da articulação intencional entre esses elementos em uma organização pedagógica coerente, capaz de orientar as diferentes etapas da aprendizagem. Essa constatação conduz à necessidade de sistematizar princípios que integrem essas contribuições em um modelo pedagógico, tema desenvolvido na próxima seção.

2.4. Da Convergência Teórica à Necessidade de Uma Organização Pedagógica

As discussões apresentadas nas seções anteriores evidenciam que diferentes campos teóricos oferecem contribuições relevantes para compreender o potencial da Cultura *Maker* no Ensino de Ciências.

Entretanto, também revelam que essas contribuições permanecem, em grande medida, dispersas na literatura. Enquanto alguns estudos concentram-se na construção de artefatos e na aprendizagem por meio da criação, outros enfatizam a investigação científica, a contextualização da aprendizagem ou a integração entre Ciências e Computação.

Embora essas perspectivas sejam complementares, raramente são apresentadas de forma articulada em uma organização pedagógica capaz de orientar a prática docente. No âmbito da Cultura *Maker*, Papert (1993), Martinez e Stager (2013), Blikstein (2013, 2018) e Resnick (2017) convergem ao defender que a aprendizagem ocorre quando os estudantes participam ativamente da construção de soluções para problemas significativos.

Apesar das diferentes ênfases adotadas por esses autores, observa-se consenso de que o protagonismo discente, a experimentação, a reflexão sobre a própria aprendizagem e a produção de artefatos constituem elementos essenciais dessa abordagem.

Entretanto, tais estudos concentram-se predominantemente nas potencialidades da aprendizagem pela construção, oferecendo menor aprofundamento sobre como estruturar pedagogicamente essas experiências no contexto do Ensino de Ciências.

Sob outra perspectiva, Bybee (2006), Carvalho (2018) e Pedaste et al. (2015) demonstram que a aprendizagem científica depende da investigação de problemas ou fenômenos capazes de mobilizar hipóteses, evidências, argumentação e construção de explicações. Esses autores deslocam o foco da transmissão de conteúdos para a compreensão de fenômenos, atribuindo à investigação um papel

central na construção do conhecimento científico. Contudo, suas discussões não abordam de forma específica como ambientes *maker* e tecnologias digitais podem ser organizados para potencializar esse processo investigativo.

De maneira complementar, os documentos curriculares brasileiros e as recomendações da Sociedade Brasileira de Computação (2025) reforçam a necessidade de integrar conhecimentos científicos e computacionais na Educação Básica. A BNCC (Brasil, 2018) e a BNCC Computação (Brasil, 2022) indicam que a resolução de problemas contemporâneos exige competências relacionadas à investigação, ao Pensamento Computacional, ao uso crítico das tecnologias digitais e à compreensão de sistemas complexos.

Entretanto, esses documentos estabelecem diretrizes e competências educacionais, sem explicitar uma organização pedagógica que oriente sua implementação em práticas fundamentadas na Cultura *Maker*.

Observa-se, portanto, que a literatura oferece importantes fundamentos para compreender diferentes dimensões da aprendizagem, mas ainda apresenta lacunas quanto à articulação entre elas.

Em muitos estudos, a Cultura *Maker* constitui o eixo central da prática; em outros, o protagonismo é atribuído ao Ensino por Investigação ou ao desenvolvimento do Pensamento Computacional. Poucos trabalhos, entretanto, discutem como esses elementos podem atuar de forma integrada em torno da investigação de um fenômeno contextualizado, orientando todas as

etapas do planejamento, da mediação docente e da construção das aprendizagens.

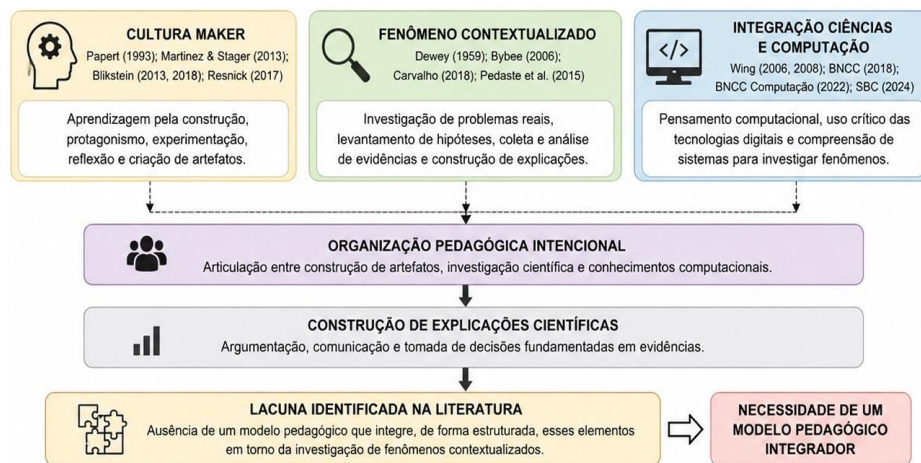
Essa constatação permite compreender que a principal lacuna não está na inexistência de referenciais teóricos consistentes, mas na ausência de uma proposta que os articule de forma coerente para orientar práticas pedagógicas. Em outras palavras, o desafio não consiste em desenvolver uma nova teoria da aprendizagem, mas em sistematizar princípios já consolidados na literatura em uma organização pedagógica capaz de apoiar o planejamento, a implementação e a avaliação de práticas fundamentadas na Cultura *Maker* voltadas ao Ensino de Ciências.

É nesse contexto que se insere a contribuição deste estudo. A partir da análise crítica dos referenciais discutidos e da experiência desenvolvida com a automação da irrigação na cafeicultura, propõe-se um modelo pedagógico que integra esses diferentes aportes teóricos em uma arquitetura única.

Em vez de privilegiar isoladamente a construção de artefatos, a investigação científica ou a integração entre Ciências e Computação, o modelo organiza esses elementos em torno de um mesmo processo formativo, buscando orientar práticas capazes de promover a compreensão de fenômenos contextualizados e a construção de explicações cientificamente fundamentadas.

Essa proposta não pretende substituir os referenciais que a fundamentam, mas oferecer uma forma de articulá-los pedagogicamente, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1. Síntese conceitual que fundamenta o MPCM-EC.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 1 sintetiza graficamente a convergência dos referenciais teóricos discutidos nas seções anteriores e evidencia que, embora a literatura ofereça contribuições significativas em relação à *Cultura Maker*, à investigação de fenômenos e à integração entre Ciências e Computação, ainda não há um modelo pedagógico que organize esses elementos de maneira sistêmica e orientada para a aprendizagem. A lacuna identificada justifica a proposição do Modelo Pedagógico para a *Cultura Maker* no Ensino de Ciências (MPCM-EC), apresentado no próximo capítulo, que busca responder à questão central deste estudo ao oferecer uma arquitetura pedagógica capaz de integrar esses elementos em práticas significativas e contextualizadas.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza aplicada e com objetivos exploratórios e descritivos, tendo como propósito desenvolver e analisar um modelo pedagógico fundamentado na *Cultura Maker* para o Ensino de Ciências. A investigação concentrou-se na organização de uma prática pedagógica baseada na exploração de um fenômeno contextualizado, articulando conhecimentos científicos e computacionais na construção de explicações científicas. A natureza aplicada da pesquisa justifica-se

por buscar produzir conhecimentos voltados à solução de um problema educacional concreto, materializado na proposição de um modelo pedagógico passível de aplicação em diferentes contextos de ensino.

Conforme destacam Creswell e Poth (2018), a pesquisa qualitativa é indicada quando o interesse do pesquisador está voltado à compreensão de processos, experiências e significados construídos em contextos reais. Nessa mesma direção, Gil (2019) afirma que pesquisas exploratórias são particularmente adequadas para investigações que buscam aprofundar fenômenos ainda pouco sistematizados, favorecendo a produção de novos referenciais interpretativos e a proposição de soluções para problemas emergentes.

Como estratégia metodológica, adotou-se o estudo de caso, uma vez que a investigação concentrou-se na análise aprofundada de uma intervenção pedagógica desenvolvida em contexto real de ensino. Segundo Yin (2015), o estudo de caso permite investigar fenômenos contemporâneos preservando as características do contexto em que ocorrem, especialmente quando as fronteiras entre o fenômeno investigado e seu ambiente não estão claramente definidas. Essa característica mostra-se compatível com os objetivos desta pesquisa, cujo interesse ultrapassa a avaliação de uma prática pedagógica específica e concentra-se na compreensão dos elementos que estruturam uma organização pedagógica fundamentada na Cultura *Maker*. Desse modo, o estudo de caso constituiu o ambiente empírico no qual foi possível observar, analisar e refinar os princípios que posteriormente deram origem ao Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências.

A produção das evidências ocorreu ao longo das diferentes etapas da investigação, contemplando momentos anteriores, concomitantes e posteriores à intervenção pedagógica. Para ampliar a compreensão do fenômeno investigado e assegurar diferentes perspectivas de análise, foram utilizadas múltiplas fontes de evidência, incluindo observações sistemáticas dos pesquisadores, registros em diário de campo, questionários aplicados aos participantes, registros audiovisuais das atividades e os artefatos produzidos pelos estudantes, tais como protótipos, códigos de programação e demais materiais desenvolvidos durante a investigação. A utilização de diferentes instrumentos permitiu confrontar informações provenientes de distintas fontes, fortalecendo a consistência analítica da pesquisa por meio da triangulação das evidências.

A análise dos dados foi conduzida por meio da triangulação de métodos, conforme proposto por Triviños (1987), articulada à Análise de Conteúdo de Bardin (2016). Inicialmente, os dados provenientes das diferentes fontes foram organizados e sistematizados. A articulação entre a triangulação das evidências e a Análise de Conteúdo possibilitou compreender como os diferentes elementos observados ao longo da pesquisa contribuíram para a elaboração, validação e refinamento dos princípios que estruturam o Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC).

3.1. Contexto da Investigação

A pesquisa foi desenvolvida em uma escola pública da rede estadual de ensino localizada no município de Mantenópolis, na região noroeste do estado do Espírito Santo. O município apresenta forte vínculo com as atividades agropecuárias, especialmente com a

agricultura familiar e a cafeicultura, que desempenham papel relevante na economia local e fazem parte do cotidiano de parcela significativa da comunidade escolar. Nesse contexto, o uso de tecnologias voltadas ao manejo da irrigação constitui uma prática presente em diferentes propriedades rurais da região, conferindo relevância ao estudo da automação desses sistemas como fenômeno de investigação no ambiente escolar.

A instituição participante oferta o Ensino Médio em período regular e atende estudantes provenientes tanto da área urbana quanto da zona rural do município. Essa diversidade de vivências contribuiu para aproximar o fenômeno investigado da realidade dos participantes, favorecendo a contextualização dos conteúdos científicos e a discussão de problemas relacionados ao uso racional da água, à produção agrícola e à incorporação de tecnologias digitais na agricultura.

A intervenção pedagógica foi desenvolvida com uma turma do 3º ano do Ensino Médio, composta por 23 estudantes, sob acompanhamento do professor da disciplina de física. A seleção da turma ocorreu de forma intencional, considerando a compatibilidade entre os conteúdos previstos no planejamento curricular e os objetivos da pesquisa, bem como a disponibilidade da instituição e do docente para o desenvolvimento das atividades propostas.

A escola dispõe de infraestrutura compatível com o desenvolvimento de atividades investigativas e práticas fundamentadas na Cultura *Maker*, incluindo laboratório de informática, acesso à internet e espaços que possibilitaram tanto o desenvolvimento das atividades de programação e construção dos

protótipos quanto a realização de discussões coletivas e experimentações durante a intervenção pedagógica. Vale observar que a prática *maker* não foi realizada dentro da escola e sim nas plantações de café de uma pequena propriedade rural próxima a escola.

Embora a investigação tenha sido conduzida em um contexto específico, seu propósito não consistiu em analisar exclusivamente a realidade da turma participante. O ambiente escolar e a fazenda onde foi realizado a prática *maker*, foram compreendidos como o espaço empírico no qual foi possível desenvolver, observar e aperfeiçoar uma organização pedagógica fundamentada na Cultura *Maker*, produzindo evidências que subsidiaram a construção do Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC).

A escolha do contexto investigado não ocorreu apenas pela disponibilidade da instituição e da propriedade rural local em participar da pesquisa, mas pela convergência entre as características socioeconômicas do município, a realidade vivenciada pelos estudantes e o potencial interdisciplinar do fenômeno investigado. Nesse sentido, a automação da irrigação foi selecionada por representar um problema autêntico e socialmente relevante, capaz de articular conhecimentos de Biologia, Física e Computação em uma situação próxima ao cotidiano dos participantes. A fundamentação dessa escolha é apresentada na seção seguinte.

3.2. Organização da Intervenção Pedagógica

A intervenção pedagógica foi concebida para investigar como a articulação entre a Cultura *Maker*, o Ensino de Ciências e a Computação poderia favorecer a construção de explicações científicas a partir de um fenômeno contextualizado. Para isso, foi elaborado um percurso metodológico que orientou o planejamento, a execução e a análise das atividades desenvolvidas durante a pesquisa.

Em vez de tratar as atividades como eventos independentes, a intervenção foi organizada como um processo investigativo contínuo, no qual cada etapa desempenhou uma função específica na construção do conhecimento e na produção das evidências empíricas utilizadas para a elaboração do Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC).

A estrutura da intervenção compreendeu a definição do fenômeno investigado, a organização das atividades segundo a metodologia da aula de campo, a integração entre conhecimentos científicos e computacionais, a validação preliminar da proposta e os refinamentos realizados antes de sua aplicação definitiva. Cada uma dessas etapas é descrita nas subseções a seguir.

3.2.1. Escolha do Fenômeno Investigado

A definição do fenômeno investigado constituiu uma etapa central no planejamento da intervenção pedagógica, uma vez que, no Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC), o fenômeno contextualizado desempenha o papel de elemento articulador entre os conhecimentos científicos, computacionais e as práticas investigativas desenvolvidas pelos estudantes.

Assim, sua seleção não ocorreu de forma aleatória nem foi orientada exclusivamente pela disponibilidade de recursos ou pela afinidade com determinado conteúdo curricular. Buscou-se identificar um fenômeno que apresentasse relevância para o contexto dos estudantes, potencial para promover a investigação científica, favorecesse a integração entre diferentes componentes curriculares e possibilitasse o desenvolvimento de atividades alinhadas aos princípios da Cultura *Maker*.

Com base nestes pressupostos, foram estabelecidos critérios pedagógicos para orientar a seleção do fenômeno investigado, considerando aspectos relacionados ao contexto sociocultural, à relevância social do problema, às possibilidades de integração curricular e ao potencial de experimentação e construção de soluções. Esses critérios, apresentados no Quadro 1, constituem elementos estruturantes do MPCM-EC e podem orientar a escolha de diferentes fenômenos em futuras aplicações do modelo.

Quadro 1. Critérios utilizados para a seleção do fenômeno investigado

Critério	Justificativa na pesquisa
Contextualização	Relação direta com a realidade agrícola de Mantenópolis (ES) e com o cotidiano dos estudantes.
Relevância social	Possibilitou discutir o uso racional da água, sustentabilidade e tecnologias aplicadas à agricultura.
Integração curricular	Favoreceu a articulação de conteúdos de Biologia, Física e Computação em torno de um mesmo problema.
Potencial investigativo	Permitiu formular hipóteses, realizar experimentações, testar soluções e analisar resultados.

Potencial <i>Maker</i>	Envolveu construção de protótipos, programação, experimentação, colaboração e aperfeiçoamento contínuo.
Flexibilidade de soluções	Possibilitou diferentes estratégias de resolução, estimulando criatividade, autonomia e pensamento crítico.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A análise do Quadro 1 demonstra que a seleção do fenômeno investigado constitui uma decisão pedagógica fundamentada em múltiplos critérios, e não apenas na escolha de um tema de interesse.

Enquanto a contextualização e a relevância social aproximam o processo investigativo da realidade vivenciada pelos estudantes, os demais critérios garantem que o fenômeno seja suficientemente abrangente para integrar conhecimentos científicos, computacionais e tecnológicos, favorecendo o desenvolvimento de práticas investigativas coerentes com os princípios da Cultura *Maker*.

Dessa forma, os critérios apresentados extrapolam a presente investigação e passam a compor o próprio MPCM-EC, podendo orientar futuras aplicações do modelo em diferentes contextos educacionais e com distintos fenômenos investigativos.

Considerando esses critérios, definiu-se como fenômeno de investigação a automação de sistemas de irrigação. A escolha esteve diretamente relacionada às características socioeconômicas do município de Mantenópolis (ES), cuja economia apresenta forte influência das atividades agropecuárias, especialmente da agricultura familiar e da cafeicultura.

Esse contexto faz com que o manejo da irrigação constitua uma prática conhecida por muitos estudantes, seja por experiências familiares, seja pela convivência com propriedades rurais existentes na região. Assim, o fenômeno investigado aproximou os conteúdos escolares de situações concretas do cotidiano, favorecendo uma aprendizagem contextualizada e significativa.

Além de sua relevância para a realidade local, a automação de sistemas de irrigação apresenta elevado potencial de integração curricular. Embora esta pesquisa tenha concentrado sua intervenção na articulação entre Biologia, Física e Computação, o fenômeno possibilita mobilizar conhecimentos de diversas outras áreas, ampliando as possibilidades de aplicação do MPCM-EC. O Quadro 2 sintetiza esse potencial interdisciplinar.

Quadro 2. Potencial de integração curricular de fenômenos contextualizados no MPCM-EC: aplicação ao tema automação de sistemas de irrigação

Área do conhecimento	Possibilidades de integração	Aplicada nesta pesquisa
Biologia	Necessidades hídricas das plantas, fisiologia vegetal, sustentabilidade e uso racional da água.	Sim
Física	Eletricidade, circuitos elétricos, sensores, atuadores, energia, pressão, vazão.	Sim
Computação	Algoritmos, programação, automação, pensamento computacional	Sim
Matemática	Grandezas, vazão, proporcionalidade, funções, gráficos, estatística e análise	Não

	de dados	
Química	Qualidade da água, pH, nutrientes do solo, fertilizantes, composição e propriedades do solo.	Não
Geografia	Clima, recursos hídricos, uso do solo e agricultura regional	Não
Ciências Agrárias	Manejo da irrigação, agricultura de precisão, produtividade	Não
Educação Ambiental	Conservação da água, sustentabilidade e impactos ambientais	Não
Engenharia	Dimensionamento de sistemas, eficiência energética e automação	Não
Tecnologia	Internet das Coisas (IoT), monitoramento remoto, sensores inteligentes	Não

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O Quadro 2 evidencia que a automação de sistemas de irrigação constitui um fenômeno com elevado potencial interdisciplinar, permitindo que diferentes áreas do conhecimento sejam mobilizadas em torno de um problema comum. Entretanto, em consonância com os objetivos desta investigação e com a necessidade de delimitação metodológica, a intervenção concentrou-se na integração entre Biologia, Física e Computação, por serem as áreas diretamente relacionadas à formação dos pesquisadores, ao desenvolvimento do protótipo e às questões investigativas propostas aos estudantes.

Essa delimitação não representa uma limitação do fenômeno nem do MPCM-EC, mas uma escolha metodológica coerente com o

escopo da pesquisa. Ao explicitar possibilidades de integração que extrapolam a intervenção realizada, o modelo evidencia seu potencial de adaptação a diferentes componentes curriculares e contextos educacionais, reforçando seu caráter flexível e transferível.

Assim, o fenômeno investigado atuou como eixo organizador da intervenção, orientando as atividades desenvolvidas nas etapas de pré-campo, campo e pós-campo e fornecendo as condições necessárias para a produção das evidências empíricas que subsidiaram a construção do Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC).

3.2.2. Organização da Aula de Campo

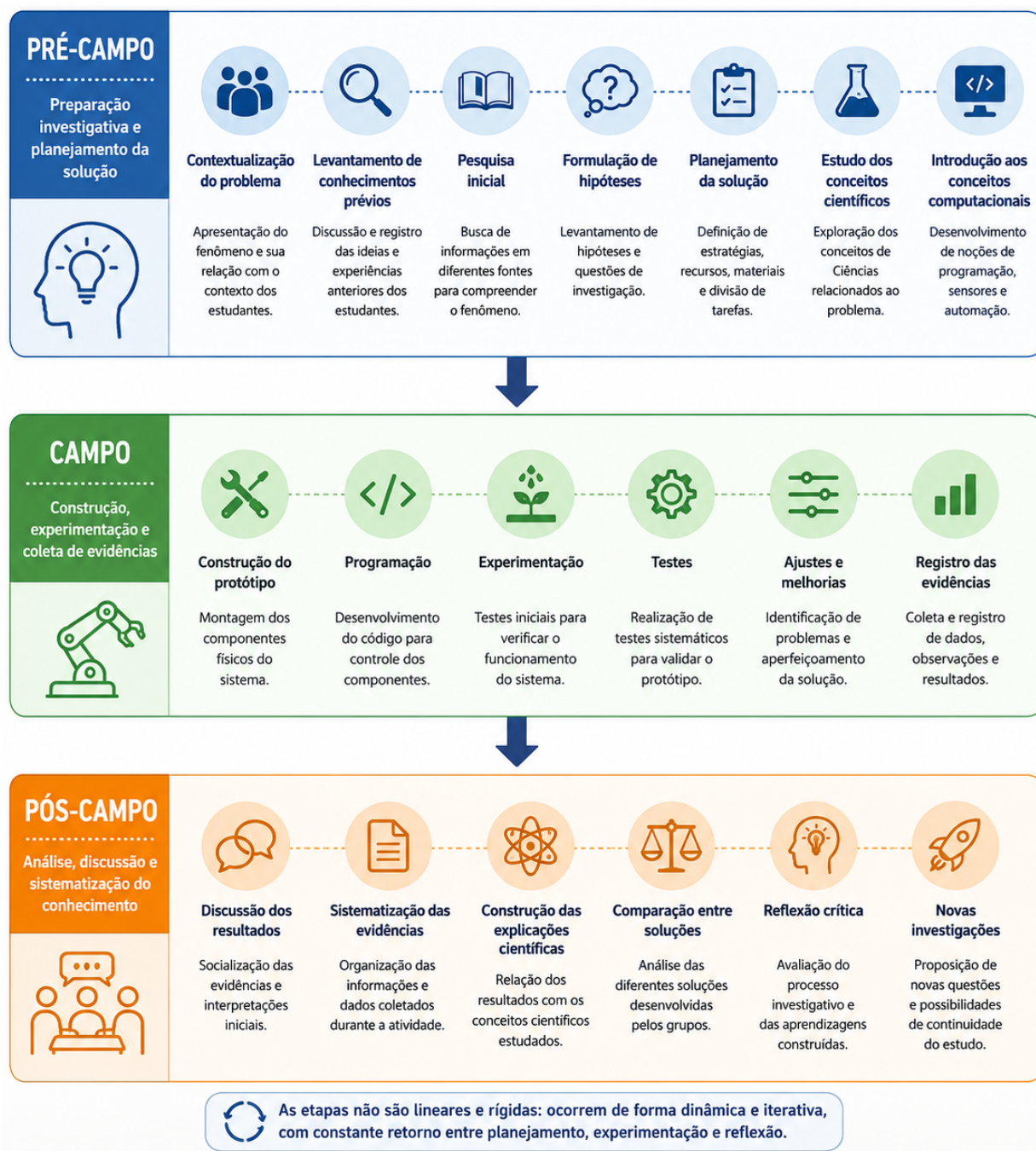
A organização da intervenção pedagógica foi fundamentada na metodologia da aula de campo proposta por Campos (2015), estruturada nas etapas de pré-campo, campo e pós-campo. Entretanto, considerando os objetivos desta investigação, essa organização foi adaptada para atender aos pressupostos do Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC), incorporando princípios da Cultura *Maker*, do ensino por investigação e da integração entre Ciências e Computação.

Na proposta apresentada por Campos (2015), a aula de campo constitui uma estratégia voltada à alfabetização científica, na qual as etapas de preparação, desenvolvimento da atividade em campo e sistematização favorecem a observação, a investigação e a compreensão dos fenômenos estudados. Embora essa organização tenha servido como referência para a presente pesquisa, verificou-se a necessidade de ampliá-la para contemplar atividades de planejamento, construção de protótipos, programação,

experimentação, validação e aperfeiçoamento contínuo das soluções desenvolvidas pelos estudantes.

Dessa forma, as etapas da aula de campo deixaram de representar apenas momentos distintos de uma sequência didática e passaram a constituir um processo investigativo contínuo, no qual a construção do conhecimento ocorreu por meio da interação entre investigação científica, desenvolvimento tecnológico e resolução colaborativa de problemas. A Figura 2 apresenta a organização da intervenção adotada nesta pesquisa.

Figura 2. Organização da intervenção pedagógica no MPCM-E



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 2 evidencia que a adaptação realizada nesta pesquisa preservou a estrutura geral proposta por Campos (2015), porém ampliou as funções pedagógicas desempenhadas em cada etapa da aula de campo. Em vez de constituírem momentos independentes de preparação, observação e sistematização, as três etapas passaram a integrar um processo investigativo contínuo, no qual os estudantes participaram ativamente da construção, experimentação, avaliação e aperfeiçoamento das soluções desenvolvidas.

No pré-campo concentraram-se as atividades relacionadas à contextualização do problema, levantamento de conhecimentos prévios, pesquisa inicial, formulação de hipóteses e planejamento da solução. Durante o campo, os estudantes assumiram papel protagonista na construção dos protótipos, programação dos dispositivos, realização de testes e registro das evidências produzidas. No pós-campo, as atividades voltaram-se à análise crítica dos resultados, construção de explicações científicas, comparação das diferentes soluções elaboradas e reflexão sobre os conhecimentos produzidos ao longo da investigação.

Essa reorganização amplia o papel tradicional da aula de campo ao incorporar momentos permanentes de criação, experimentação, validação e refinamento das soluções propostas pelos estudantes. Assim, a aula de campo deixa de ser compreendida apenas como um espaço de observação de fenômenos para constituir um ambiente de investigação, construção colaborativa do conhecimento e desenvolvimento de competências científicas, computacionais e tecnológicas, coerentes com os princípios do MPCM-EC.

Com o objetivo de evidenciar as adaptações realizadas em relação à proposta original de Campos (2015), o Quadro 3 apresenta uma síntese comparativa entre a organização da aula de campo descrita pelo autor e a forma como essa estrutura foi ressignificada no âmbito do MPCM-EC.

Quadro 3. Comparação entre a organização da aula de campo proposta por Campos (2015) e sua adaptação no MPCM-EC

Etapa	Organização proposta por	Adaptação realizada no MPCM-EC
-------	--------------------------	--------------------------------

	Campos (2015)	
Pré-campo	Preparação da atividade, contextualização e planejamento da aula de campo.	Contextualização do problema, levantamento de conhecimentos prévios, pesquisa inicial, formulação de hipóteses, estudo dos conceitos científicos e computacionais e planejamento da solução.
Campo	Observação do fenômeno, coleta de informações e registro das evidências.	Construção do protótipo, programação, experimentação, realização de testes, ajustes, validação e registro das evidências produzidas durante o desenvolvimento da solução.
Pós-campo	Discussão, análise e sistematização das observações realizadas.	Sistematização das evidências, construção de explicações científicas, comparação entre soluções, reflexão crítica, refinamento dos protótipos e proposição de novas investigações.

Fonte: Adaptado de Campos (2015) e elaborado pelos autores (2026).

A comparação apresentada no Quadro 3 evidencia que o MPCM-EC não substitui a organização metodológica proposta por Campos (2015), mas a amplia para atender às demandas de um ambiente de aprendizagem fundamentado na Cultura *Maker*. Enquanto a proposta original concentra-se na observação e interpretação dos fenômenos investigados, a adaptação incorpora atividades de criação, construção, programação, experimentação e refinamento das soluções desenvolvidas pelos estudantes.

Dessa forma, a aula de campo deixa de representar apenas uma estratégia de observação para tornar-se um espaço de investigação, produção de conhecimento e desenvolvimento tecnológico, no qual

teoria e prática são continuamente articuladas durante todo o processo de aprendizagem.

3.2.3. Refinamentos Realizados no MPCM-EC

As contribuições obtidas durante a avaliação formativa, como pode ser visualizado na Figura 3, subsidiaram o refinamento do Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC) antes de sua aplicação no contexto escolar. O objetivo dessa etapa não foi modificar os fundamentos teóricos do modelo, mas aperfeiçoar sua organização didática, ampliando o potencial investigativo das atividades, favorecendo a autonomia dos estudantes e tornando sua aplicação mais coerente com os princípios da Cultura *Maker*.

Figura 3. Validação da Proposta por alunos doutorandos do Programa Educimat.



Fonte: Acervo da pesquisa (2026).

As discussões realizadas com os doutorandos, conforme demonstrado na Figura 3, em uma aula de validação desta proposta, evidenciaram que algumas orientações presentes na versão inicial do modelo direcionavam excessivamente o desenvolvimento das atividades, reduzindo as oportunidades para que os participantes formassem estratégias próprias de investigação e resolução dos problemas propostos. Além disso, observou-se que determinadas

etapas apresentavam uma organização excessivamente sequencial, o que poderia levar à interpretação da intervenção como um roteiro rígido de execução.

Em resposta às contribuições recebidas, foram realizados ajustes na estrutura do MPCM-EC, preservando seus fundamentos conceituais, mas flexibilizando a condução das atividades. As modificações concentraram-se na redução das orientações prescritivas, na ampliação dos espaços destinados à tomada de decisão pelos estudantes e na reorganização das etapas investigativas, favorecendo processos contínuos de construção, experimentação, reflexão e refinamento das soluções desenvolvidas. O Quadro 4 sintetiza as principais alterações implementadas no modelo após a avaliação formativa.

Quadro 4. Refinamentos realizados no Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências (MPCM-EC) após a avaliação formativa

Aspecto do modelo	Evidências da avaliação formativa	Refinamento implementado
Organização das atividades	Sequência predominantemente linear das etapas.	Organização flexível, permitindo retornos entre planejamento, experimentação e reflexão.
Roteiro da intervenção	Instruções detalhadas para execução de cada atividade.	Orientações mais abertas, favorecendo diferentes estratégias de resolução.
Autonomia dos estudantes	Decisões condicionadas às orientações do roteiro.	Ampliação da autonomia para definição de procedimentos, construção e validação das soluções.

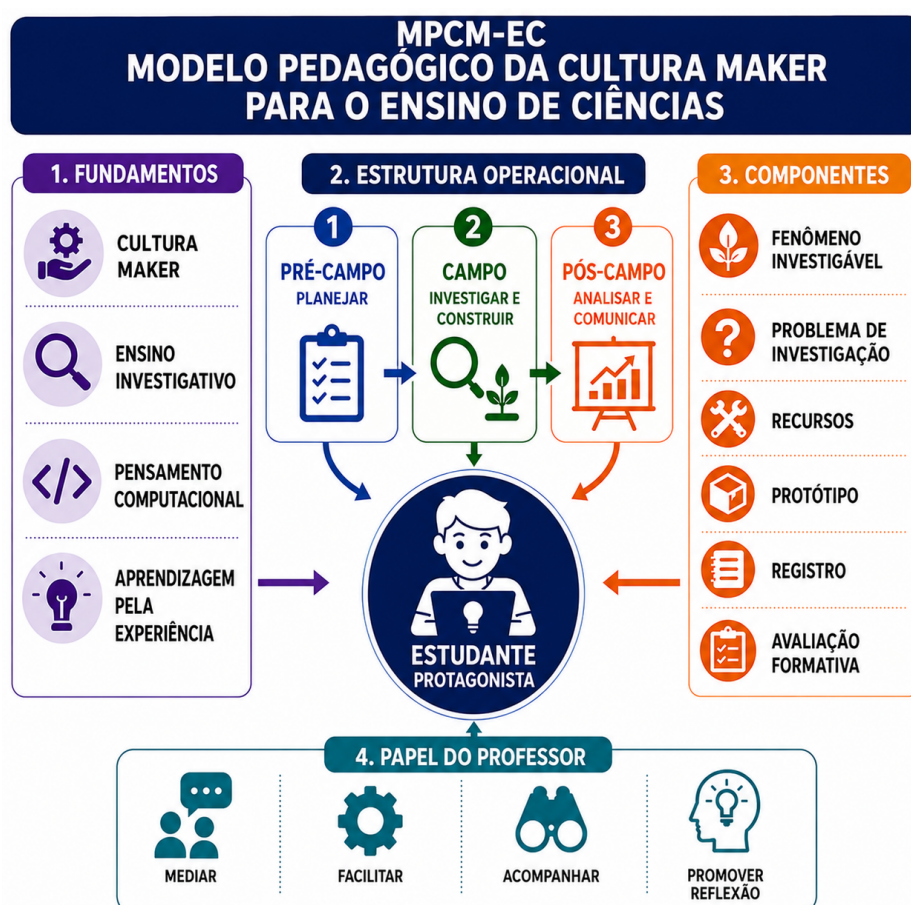
Papel do professor	Atuação predominantemente orientadora durante todas as etapas.	Mediação voltada à problematização, ao acompanhamento e ao estímulo da investigação.
Construção do conhecimento	Ênfase na execução das atividades previstas.	Ênfase no processo investigativo, na experimentação e no refinamento contínuo das soluções.
Integração entre etapas	Progressão sequencial entre pré-campo, campo e pós-campo.	Processo iterativo, permitindo revisões e aperfeiçoamentos ao longo de toda a intervenção.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A comparação apresentada no Quadro 4 evidencia que os refinamentos realizados concentraram-se principalmente na dinâmica de implementação do modelo, e não em sua fundamentação teórica. As modificações buscaram ampliar o protagonismo dos estudantes, favorecer a construção colaborativa do conhecimento e aproximar a intervenção das características inerentes aos processos investigativos e à Cultura *Maker*. Os ajustes também permitiram superar uma organização excessivamente linear das atividades, característica frequentemente observada em propostas de ensino centradas na execução de roteiros previamente definidos. Na versão refinada do MPCM-EC, as etapas passaram a constituir um ciclo iterativo de investigação, no qual planejamento, experimentação, análise dos resultados e aperfeiçoamento das soluções podem ocorrer de forma articulada, respeitando as necessidades emergentes durante o desenvolvimento da atividade.

Esses refinamentos contribuíram para consolidar o MPCM-EC como um modelo pedagógico flexível e adaptável a diferentes contextos educacionais, preservando sua estrutura metodológica e, simultaneamente, ampliando as possibilidades de participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento científico. A partir dessas adequações, obteve-se a versão consolidada do modelo, apresentado na Figura 4, que orientou a condução da intervenção pedagógica e serviu como referência para a produção das evidências analisadas nesta investigação.

Figura 4. Modelo Pedagógico da Cultura *Maker* para o Ensino de Ciências



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 4 sintetiza a estrutura conceitual e operacional do Modelo Pedagógico da Cultura Maker para o Ensino de Ciências (MPCM-EC), evidenciando a articulação entre seus fundamentos teóricos, seus

componentes constituintes e sua organização didático-pedagógica. Percebe-se na ilustração que o modelo está estruturado sobre quatro fundamentos, Cultura Maker, Ensino Investigativo, Pensamento Computacional e Aprendizagem pela Experiência, que orientam a concepção das atividades propostas.

Esses fundamentos sustentam um processo organizado em três etapas operacionais (pré-campo, campo e pós-campo), conduzidas a partir de um fenômeno investigável e de um problema de investigação contextualizado, mobilizando recursos, construção de protótipos, registros sistemáticos e avaliação formativa. No centro dessa organização encontra-se o estudante como protagonista do processo de aprendizagem, enquanto o professor assume o papel de mediador, facilitador, acompanhante e promotor da reflexão. Dessa forma, o MPCM-EC configura-se como um modelo que integra referenciais teóricos e elementos operacionais em uma estrutura coerente para orientar práticas investigativas fundamentadas na Cultura Maker no contexto do Ensino de Ciências.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das evidências produzidas durante a implementação do Modelo Pedagógico da Cultura Maker para o Ensino de Ciências (MPCM-EC) foi conduzida com base nos pressupostos da Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2016), buscando compreender como os elementos constituintes do modelo se manifestaram durante a intervenção pedagógica.

Considerando que o objetivo desta investigação não consistiu apenas em avaliar os efeitos de uma prática educativa, mas em

desenvolver e fundamentar um modelo pedagógico, a análise concentrou-se na identificação dos processos que evidenciaram sua organização, funcionamento e potencial de aplicação.

Inicialmente, procedeu-se à organização do corpus da pesquisa, constituído pelas observações participantes, diário de campo, registros fotográficos, produções escritas dos estudantes, protótipos desenvolvidos, códigos de programação e questionários aplicados ao longo da intervenção. Em seguida, realizou-se a leitura exaustiva desses materiais, identificando unidades de significado relacionadas aos objetivos da investigação e aos fundamentos teóricos que sustentam o MPCM-EC.

Posteriormente, essas unidades de significado foram agrupadas segundo suas aproximações conceituais e confrontadas entre as diferentes fontes de evidências por meio da triangulação dos dados, conforme proposto por Triviños (1987). Esse procedimento permitiu verificar a recorrência dos fenômenos observados, reduzir interpretações fundamentadas em evidências isoladas e fortalecer a consistência analítica das interpretações construídas.

Diferentemente de uma organização baseada nos instrumentos de coleta ou em eventos específicos da intervenção, as categorias analíticas foram estruturadas a partir dos principais eixos constituintes do próprio MPCM-EC, permitindo analisar empiricamente como seus fundamentos, sua organização pedagógica, seus componentes e a mediação docente se materializaram durante a implementação do modelo. Essa opção metodológica possibilitou estabelecer uma relação direta entre a arquitetura conceitual apresentada na Figura 3 e os resultados discutidos nas seções subsequentes.

O Quadro 5 apresenta as categorias analíticas construídas, seus respectivos focos de análise, as principais fontes de evidências utilizadas na triangulação e os referenciais teóricos predominantes que fundamentaram sua interpretação.

Quadro 5. Categorias analíticas utilizadas na interpretação das evidências

Categoria analítica	Foco da análise	Evidências trianguladas	Referenciais predominantes
Materialização dos fundamentos do MPCM-EC na prática pedagógica	Evidências da Cultura Maker, Ensino Investigativo, Pensamento Computacional e Aprendizagem pela Experiência durante a intervenção	Observações, diário de campo, produções escritas, questionários e registros fotográficos	Cultura Maker; Ensino Investigativo; Pensamento Computacional; Dewey
Contribuições da estrutura operacional para o desenvolvimento da investigação	Papel do pré-campo, campo e pós-campo na organização das atividades investigativas	Observações, diário de campo, produções escritas, registros fotográficos e questionários	Campos (2015); Ensino Investigativo; Cultura Maker
Contribuições dos componentes do MPCM-EC para a construção do conhecimento	Fenômeno investigável, problema, recursos, protótipos, registros e avaliação formativa	Protótipos, produções escritas, códigos de programação, observações e diário de campo	Cultura Maker; Pensamento Computacional; Dewey

Mediação docente e protagonismo estudantil na implementação do MPCM-EC	Papel do professor como mediador e participação ativa dos estudantes durante a investigação	Observações, diário de campo, questionários, registros fotográficos e produções escritas	Ensino Investigativo; Cultura Maker; Dewey
--	---	--	--

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

As categorias apresentadas no Quadro 5 evidenciam que a interpretação dos resultados não foi organizada segundo os instrumentos de produção das evidências, mas em torno dos elementos estruturantes do MPCM-EC. Essa organização permitiu compreender de que maneira cada dimensão do modelo se manifestou na prática pedagógica, articulando diferentes fontes de evidências em um mesmo processo interpretativo. Dessa forma, cada categoria analítica resulta da convergência entre observações, registros produzidos durante a intervenção e fundamentação teórica, assegurando que as interpretações apresentadas não decorram de evidências isoladas, mas da triangulação sistemática entre múltiplas perspectivas sobre o fenômeno investigado.

4.1. Materialização dos Fundamentos do MPCM-EC na Prática Pedagógica

A primeira categoria analítica teve como objetivo compreender como os fundamentos do Modelo Pedagógico da Cultura Maker para o Ensino de Ciências (MPCM-EC) se materializaram durante sua implementação. Para isso, procedeu-se à triangulação entre as observações participantes, os registros do diário de campo, as

produções elaboradas pelos estudantes, os registros fotográficos e os protótipos desenvolvidos ao longo da intervenção.

A análise dessas diferentes fontes permitiu compreender não apenas as ações desenvolvidas durante a aplicação do modelo, mas, principalmente, identificar como os princípios da Cultura Maker, do Ensino Investigativo, do Pensamento Computacional e da Aprendizagem pela Experiência passaram a orientar, de maneira integrada, a construção do conhecimento científico.

As evidências revelam que esses fundamentos não surgiram de forma isolada. Ao longo da intervenção observou-se um movimento contínuo no qual a investigação do fenômeno provocou a elaboração de hipóteses, que passaram a demandar soluções computacionais, posteriormente materializadas na construção dos protótipos e continuamente aperfeiçoadas por meio da experimentação. Dessa forma, compreender o problema, programar, construir, testar, errar e reconstruir constituíram dimensões complementares de um único processo de aprendizagem.

Os primeiros indícios desse movimento apareceram durante as discussões iniciais propostas no pré-campo. Ao serem convidados a refletir sobre formas de automatizar o processo de irrigação da cultura do café, os estudantes passaram a relacionar o problema apresentado com experiências vivenciadas em suas comunidades, demonstrando que a contextualização favoreceu a mobilização de conhecimentos construídos para além do ambiente escolar.

O diário de campo registrou esse momento: "Os estudantes passaram a comentar como a irrigação era realizada nas propriedades de suas famílias e discutiram diferentes possibilidades

para automatizar esse processo, ainda antes do contato com os componentes eletrônicos." (Diário de Campo – Aula 1).

As observações participantes corroboram esse registro ao evidenciar que as discussões permaneceram centradas no problema de investigação e não na tecnologia que seria utilizada. Em diferentes grupos, as primeiras hipóteses foram elaboradas a partir da necessidade de compreender quando a planta realmente necessitaria de água, deslocando o foco da simples automatização do sistema para a compreensão do próprio fenômeno investigado.

À medida que essas hipóteses eram discutidas, tornou-se necessário compreender como um sistema computacional poderia responder às questões levantadas pelos próprios estudantes. Nesse contexto, a programação deixou de representar um conteúdo técnico ensinado de maneira descontextualizada e passou a constituir um instrumento para organizar o raciocínio necessário à resolução do problema, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5. Desenvolvimento inicial da solução computacional



Fonte: Acervo da pesquisa (2026).

A Figura 5 evidencia que a mediação docente concentrou-se na construção da lógica de funcionamento do sistema e não na simples reprodução de comandos. Antes da implementação do código, os estudantes discutiam coletivamente quais informações deveriam ser obtidas pelo sensor, quais decisões o sistema deveria tomar e quais ações deveriam ser executadas em cada situação observada. Salienta-se que na Figura 3 não consta a imagem do comando do *"void loop"*.

Essa dinâmica também aparece nas produções elaboradas pelos grupos. Em diversos registros foram identificados esquemas representando a sequência lógica de funcionamento do sistema, organizando etapas como leitura da umidade do solo, comparação dos valores obtidos, acionamento da bomba e interrupção da irrigação. Embora produzidos de forma simplificada, esses registros demonstram processos de decomposição do problema, organização lógica e antecipação de soluções, evidenciando que o

desenvolvimento do Pensamento Computacional ocorreu articulado à investigação do fenômeno e não como um objetivo isolado da atividade.

A etapa de campo ampliou significativamente esse processo investigativo. A observação do sistema de irrigação em funcionamento, como demonstrado na Figura 6, permitiu confrontar as hipóteses inicialmente construídas com as condições reais encontradas no ambiente de cultivo, produzindo evidências que levaram diferentes grupos a revisar suas explicações.

Figura 6. Investigação do fenômeno em ambiente real



Fonte: Acervo da pesquisa (2026).

Conforme evidenciado na Figura 6, a visita ao cafezal deslocou o foco das discussões para aspectos que até então haviam recebido pouca atenção durante o pré-campo. Os estudantes passaram a observar as condições do solo, a posição dos aspersores, a distribuição da água e a influência da umidade na tomada de decisão sobre a irrigação.

O diário de campo registra uma mudança significativa nas discussões dos grupos: "Depois da observação no cafezal, os estudantes passaram a discutir que o problema não era apenas ligar automaticamente a bomba, mas identificar corretamente quando o solo realmente necessitava de água."

Essa mudança também foi identificada nas produções escritas elaboradas após a visita técnica. Comparando os registros produzidos antes e depois da etapa de campo, verificou-se que diferentes grupos passaram a incorporar o sensor de umidade como elemento central do sistema, reorganizando tanto os esquemas de funcionamento quanto a lógica inicialmente proposta para o algoritmo.

A convergência entre os registros fotográficos, as observações participantes, o diário de campo e as produções dos estudantes evidencia que a etapa de campo promoveu uma reconstrução das hipóteses inicialmente formuladas. A observação direta do fenômeno deixou de representar apenas uma atividade complementar e passou a orientar efetivamente as decisões tomadas nas etapas seguintes da intervenção.

No retorno ao ambiente escolar, essas evidências passaram a orientar o desenvolvimento dos protótipos, conforme demonstrado na Figura 7. Diferentemente de atividades centradas apenas na montagem de circuitos eletrônicos, observou-se que cada decisão relacionada aos componentes físicos e à programação era constantemente confrontada com o problema investigado durante a visita ao cafezal.

Figura 7. Construção e validação da solução proposta



Fonte: Acervo da pesquisa (2026).

As fotografias apresentadas na Figura 7 evidenciam que os componentes eletrônicos não constituíram o foco da aprendizagem, mas instrumentos utilizados para investigar e responder ao problema proposto. Durante a construção dos protótipos, observou-se a realização de sucessivos ciclos de montagem, programação, testes e reformulação das soluções, comportamento igualmente registrado no diário de campo. Salienta-se que nesta etapa, os estudantes testaram os protótipos em mudas de plantas para depois serem instaladas no cafezal.

O diário de campo da aula 5 registra que "após perceber que o sensor permanecia acionado continuamente, o grupo iniciou uma discussão sobre possíveis causas do problema, revisou o circuito, modificou parâmetros do código e realizou novos testes antes de solicitar auxílio do professor."

As observações participantes registraram comportamento semelhante em diferentes grupos. Em vez de interromper a atividade diante dos erros encontrados, os estudantes passaram a

utilizá-los como fonte de novas perguntas, reorganizando continuamente tanto os circuitos quanto os algoritmos desenvolvidos. Essa dinâmica também pode ser observada nas diferentes versões dos códigos produzidos pelos grupos, que apresentam sucessivas modificações relacionadas aos valores de referência do sensor e às estruturas condicionais responsáveis pelo acionamento da irrigação.

A triangulação dessas evidências demonstra que o protótipo assumiu dupla função durante a intervenção. Ao mesmo tempo em que representava o produto material construído pelos estudantes, constituiu também um instrumento para testar hipóteses, produzir novas evidências e promover sucessivos processos de reflexão sobre as decisões tomadas ao longo da investigação.

Considerando conjuntamente as diferentes fontes analisadas, observa-se que os fundamentos do MPCM-EC não se manifestaram como etapas independentes da intervenção. A problematização inicial desencadeou processos investigativos; a investigação demandou a organização do raciocínio computacional; a observação do fenômeno promoveu a revisão das hipóteses; e a construção dos protótipos desencadeou sucessivos ciclos de experimentação, validação e reconstrução das soluções propostas.

Assim, Cultura Maker, Ensino Investigativo, Pensamento Computacional e Aprendizagem pela Experiência emergiram de forma integrada durante toda a implementação do modelo, evidenciando que sua principal contribuição não reside na simples combinação de diferentes abordagens pedagógicas, mas na organização de uma prática investigativa em que compreender o

fenômeno, desenvolver soluções e refletir continuamente sobre elas constituem processos indissociáveis.

4.2. Contribuições da Estrutura Operacional para o Desenvolvimento da Investigação

A segunda categoria analítica buscou compreender como a estrutura operacional do MPCM-EC contribuiu para o desenvolvimento da investigação científica ao longo da intervenção pedagógica, pois, diferentemente de uma sequência organizada apenas para distribuir atividades em momentos distintos, a análise das evidências demonstra que a organização em pré-campo, campo e pós-campo desempenhou papel estruturante na evolução do raciocínio investigativo dos estudantes.

A triangulação entre os registros do diário de campo, as observações participantes, as produções escritas, os registros fotográficos e os protótipos evidencia que cada etapa passou a cumprir uma função cognitiva específica, promovendo sucessivas reorganizações das explicações construídas pelos grupos.

As evidências indicam que a principal contribuição da estrutura operacional não esteve na realização isolada de cada etapa, mas na continuidade estabelecida entre elas. Em nenhum momento as atividades foram percebidas pelos estudantes como eventos independentes.

As hipóteses formuladas inicialmente orientaram as observações realizadas durante a atividade de campo; as evidências produzidas no ambiente investigado passaram a fundamentar a construção dos algoritmos e dos protótipos; e os resultados obtidos durante os testes provocaram novas interpretações sobre o problema

inicialmente proposto. Assim, a investigação evoluiu por meio de sucessivos ciclos de retomada, validação e reformulação das ideias.

Essa evolução torna-se evidente quando são comparadas as produções elaboradas pelos estudantes antes e após a atividade de campo. Nos registros iniciais predominavam representações simplificadas do sistema de irrigação, nas quais a automatização era compreendida principalmente como o acionamento automático da bomba de água.

Após a visita ao cafezal, entretanto, diferentes grupos passaram a incorporar elementos relacionados ao monitoramento da umidade do solo, à posição dos sensores e às condições ambientais, modificando tanto a estrutura dos esquemas quanto a lógica utilizada na programação do sistema.

Essa transformação também aparece nos registros do diário de campo: "Depois da observação no cafezal, vários grupos comentaram que o sistema não deveria apenas ligar automaticamente a bomba, mas interpretar as condições do solo antes de tomar qualquer decisão."

As observações participantes registraram comportamento semelhante. Durante o retorno da atividade de campo, os estudantes permaneceram discutindo aspectos observados no ambiente investigado e, antes mesmo de retomarem a construção dos protótipos, diversos grupos decidiram modificar os projetos inicialmente planejados. Esse comportamento evidencia que a etapa de campo não produziu apenas novas informações, mas provocou uma reorganização das hipóteses anteriormente formuladas.

As Figuras 6 e 7 reforçam essa interpretação ao evidenciar que a produção das evidências ocorreu diretamente no contexto onde o fenômeno se manifestava. Os registros fotográficos mostram os estudantes observando características do solo, discutindo o posicionamento dos componentes do sistema de irrigação e relacionando essas observações às hipóteses construídas anteriormente. Em conjunto com o diário de campo e as produções escritas, essas imagens demonstram que o ambiente investigado deixou de representar apenas um espaço de observação para constituir uma fonte permanente de evidências utilizadas na construção das soluções desenvolvidas posteriormente.

Essa continuidade também se manifesta durante a elaboração dos protótipos. A análise das diferentes versões dos códigos produzidos pelos estudantes demonstra que as alterações realizadas não decorreram apenas da correção de erros de programação, mas refletiram mudanças na própria compreensão do fenômeno investigado.

Em diversos momentos observou-se que modificações realizadas nos algoritmos estavam diretamente relacionadas às evidências produzidas durante a atividade de campo, especialmente quanto aos parâmetros utilizados para interpretar os valores de umidade do solo e às condições estabelecidas para o acionamento do sistema de irrigação.

Esse movimento aparece de forma recorrente no diário de campo: "O grupo decidiu alterar o valor de referência do sensor depois de discutir que a umidade observada no cafezal era diferente daquela inicialmente considerada durante a programação."

A análise dos protótipos confirma essa interpretação. As sucessivas alterações observadas tanto na disposição dos componentes eletrônicos quanto na programação evidenciam que a construção do artefato foi continuamente orientada pelas evidências produzidas durante a investigação, estabelecendo uma relação permanente entre observação, interpretação e experimentação.

Conforme apresentado na Figura 6, o protótipo deixou de representar apenas o produto final da intervenção para assumir a função de instrumento de investigação. Durante os testes, diferentes grupos confrontaram o comportamento esperado com os resultados efetivamente obtidos, realizando sucessivas modificações tanto na estrutura física quanto nos algoritmos desenvolvidos.

As observações participantes registram que os estudantes passaram a utilizar os resultados dos testes como novas evidências para revisar suas hipóteses, retomando decisões anteriormente consideradas concluídas.

Essa dinâmica evidencia um aspecto importante da estrutura operacional do MPCM-EC: embora organizada em três etapas, sua implementação não ocorreu de maneira linear. As evidências demonstram que os estudantes retornavam constantemente às hipóteses formuladas no início da investigação, reinterpretavam as observações realizadas durante o campo e reelaboravam continuamente suas soluções à medida que novos resultados eram produzidos pelos protótipos. Dessa forma, a sequência operacional funcionou como um ciclo investigativo permanente, no qual cada etapa permanecia ativa durante toda a intervenção.

Esse comportamento pode ser sintetizado no Quadro 6, que apresenta a evolução das hipóteses construídas pelos estudantes ao longo da implementação do modelo.

Quadro 6. Evolução das hipóteses dos estudantes ao longo da estrutura operacional do MPCM-EC.

Etapas da estrutura operacional	Hipótese predominante	Evidência que provocou reorganização	Compreensão construída
Pré-campo	Automatizar o acionamento da bomba de irrigação.	Problematização inicial e discussão coletiva.	O sistema deveria executar automaticamente uma ação previamente definida.
Campo	Compreender quando irrigar é mais importante do que apenas automatizar o acionamento.	Observações realizadas no cafezal, registros fotográficos e discussão entre os grupos.	A tomada de decisão depende das condições observadas no ambiente e do monitoramento da umidade do solo.
Pós-campo	Integrar sensores, programação e protótipo para responder ao problema investigado.	Testes realizados com o protótipo, revisão dos algoritmos e experimentação sucessiva.	A solução depende da articulação entre evidências produzidas durante a investigação, programação e validação experimental.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A síntese apresentada no Quadro 6 evidencia que a evolução conceitual dos estudantes ocorreu por meio de sucessivas

reorganizações das hipóteses inicialmente construídas. As mudanças observadas não decorreram da simples exposição a novos conteúdos, mas da interação contínua entre problematização, produção de evidências, experimentação e reflexão, favorecida pela organização da estrutura operacional do modelo.

Considerando conjuntamente todas as evidências analisadas, observa-se que a principal contribuição da estrutura operacional do MPCM-EC reside na articulação progressiva entre as diferentes etapas da investigação. O pré-campo criou condições para a formulação das hipóteses; o campo produziu evidências capazes de tensionar e reorganizar essas explicações; e o pós-campo permitiu transformar as interpretações construídas em soluções concretas continuamente refinadas pelos estudantes. Assim, a estrutura operacional não desempenhou apenas função organizacional, mas constituiu o mecanismo pedagógico responsável por sustentar a progressão da investigação científica ao longo de toda a intervenção, favorecendo a evolução conceitual dos participantes e conferindo coerência ao processo investigativo proposto pelo MPCM-EC.

4.3. Contribuições dos Componentes do MPCM-EC para a Construção do Conhecimento

A terceira categoria analítica buscou compreender de que maneira os componentes do MPCM-EC contribuíram para a construção do conhecimento durante a investigação desenvolvida pelos estudantes. A análise das diferentes fontes de evidência revelou que essa construção não ocorreu pela aprendizagem isolada de conceitos pertencentes a disciplinas específicas, mas pela

mobilização integrada de conhecimentos exigida pela compreensão do fenômeno investigado.

Nesse contexto, os componentes do modelo desempenharam papel estruturante ao organizar pedagogicamente situações em que diferentes conteúdos curriculares passaram a ser articulados em torno de um mesmo problema, reduzindo a fragmentação frequentemente observada no ensino tradicional.

A triangulação entre as observações participantes, o diário de campo, as produções dos estudantes, os registros fotográficos, os algoritmos desenvolvidos e os protótipos construídos demonstra que a aprendizagem evoluiu à medida que os estudantes perceberam que nenhuma decisão tomada durante a investigação poderia ser fundamentada apenas em um único conteúdo escolar.

A resolução do problema proposto exigia compreender simultaneamente aspectos relacionados ao fenômeno físico, ao funcionamento dos dispositivos eletrônicos, à lógica computacional, à interpretação dos dados produzidos pelos sensores e às características agronômicas do cultivo do café.

Esse movimento tornou-se evidente durante o desenvolvimento do sistema automatizado de irrigação. A definição das condições para o acionamento da bomba de água exigiu que os estudantes interpretassem a umidade do solo observada durante a atividade de campo, compreendessem como o sensor convertia essa condição em sinais elétricos, estabelecessem parâmetros numéricos para representar diferentes níveis de umidade e desenvolvessem estruturas condicionais capazes de transformar essas informações em decisões executadas pelo Arduino.

Assim, conteúdos relacionados às Ciências, Física, Matemática, Computação, Tecnologia e Agricultura deixaram de ser mobilizados separadamente e passaram a constituir um sistema integrado de interpretação do fenômeno investigado.

O diário de campo registra essa integração durante as atividades de programação: "Enquanto ajustavam os valores do sensor, os estudantes interrompiam constantemente a programação para discutir se aqueles parâmetros correspondiam às condições observadas no cafezal. Em vários momentos retornaram aos registros produzidos na atividade de campo antes de decidir quais valores deveriam ser utilizados no algoritmo."

Essa evidência demonstra que a programação não foi compreendida como um exercício técnico de codificação. Antes de escrever qualquer estrutura condicional, os estudantes discutiam o significado físico dos dados coletados, relacionando-os às observações realizadas no ambiente agrícola. O algoritmo passou, portanto, a representar uma formalização computacional das explicações científicas construídas ao longo da investigação.

As observações participantes reforçam essa interpretação ao evidenciar que os grupos transitavam continuamente entre diferentes formas de conhecimento. Durante a construção dos protótipos, era comum que uma decisão relacionada ao circuito eletrônico conduzisse a novas discussões sobre a fisiologia vegetal, sobre a necessidade hídrica da cultura do café ou sobre os valores de referência utilizados pelo sensor de umidade.

Da mesma forma, dificuldades encontradas durante a programação frequentemente motivavam a retomada das observações realizadas

no campo, demonstrando que a investigação não se desenvolvia em etapas isoladas, mas por meio da integração permanente entre diferentes conteúdos.

A Figura 8 ilustra esse movimento ao apresentar os estudantes desenvolvendo o algoritmo que controlaria o sistema automatizado e, posteriormente, confrontando seu funcionamento com as evidências produzidas durante a investigação do fenômeno.

Figura 8. Integração entre programação, investigação e validação da solução desenvolvida.



Fonte: Acervo da pesquisa (2026).

As produções elaboradas pelos estudantes, registrado na Figura 8 também evidenciam essa integração. Nos registros iniciais predominavam representações centradas na montagem do circuito e na sequência operacional da programação.

Entretanto, à medida que a investigação avançava, essas representações passaram a incorporar relações entre umidade do solo, funcionamento dos sensores, interpretação dos dados, estruturas condicionais do algoritmo e acionamento do sistema de irrigação. Essa evolução demonstra que os estudantes deixaram de

compreender cada conteúdo de forma independente e passaram a utilizá-los conjuntamente para explicar o comportamento do sistema desenvolvido. Essa integração pode ser sintetizada no Quadro 7.

Quadro 7. Integração dos conteúdos curriculares promovida pelos componentes do MPCM-EC

Situação investigativa promovida pelos componentes do modelo	Conteúdos curriculares mobilizados	Evidências observadas
Compreensão do fenômeno investigado	Ciências (solo, água, fisiologia vegetal), Agricultura e contexto local	Discussões durante a atividade de campo e registros no diário.
Formulação e revisão das hipóteses	Ciências, Matemática e argumentação científica	Produções escritas e reorganização das hipóteses após o campo.
Desenvolvimento da solução computacional	Computação (algoritmos, estruturas condicionais, variáveis), Matemática (comparação de valores e definição de limites) e Física (sinais elétricos)	Algoritmos produzidos pelos estudantes e observações participantes.
Construção e testes do protótipo	Tecnologia, Eletrônica, Engenharia e Ciências	Protótipos desenvolvidos, registros fotográficos e testes sucessivos.
Interpretação dos resultados	Integração entre Ciências, Computação, Tecnologia e Matemática	Discussões coletivas, diário de campo e

		refinamento das soluções.
--	--	---------------------------

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O Quadro 7 evidencia que a integração dos conteúdos não foi planejada pela simples aproximação entre disciplinas, mas emergiu das exigências impostas pelo próprio fenômeno investigado. Em nenhum momento da intervenção os estudantes recorreram a determinado conteúdo apenas porque ele pertencia a uma disciplina específica. Cada conhecimento passou a ser mobilizado em função das perguntas produzidas durante a investigação e das decisões necessárias para compreender o funcionamento do sistema automatizado.

Essa característica representa uma contribuição importante do MPCM-EC para o Ensino de Ciências. Tradicionalmente, os conteúdos curriculares são apresentados de forma fragmentada, distribuídos entre componentes curriculares relativamente independentes e, posteriormente, espera-se que o estudante estabeleça as relações necessárias para resolver problemas complexos.

Os resultados obtidos neste estudo indicam uma dinâmica inversa: o fenômeno investigado passou a constituir o eixo organizador da aprendizagem, exigindo que diferentes conteúdos fossem mobilizados simultaneamente para interpretar evidências, justificar decisões e construir explicações científicas.

Dessa forma, os componentes do MPCM-EC não apenas organizaram a sequência didática da intervenção, mas favoreceram uma reorganização da própria dinâmica curricular. O fenômeno

investigável orientou as perguntas; o problema direcionou as hipóteses; os recursos tecnológicos possibilitaram explorar soluções; o protótipo permitiu confrontar essas soluções com a realidade observada; os registros organizaram as evidências produzidas; e a avaliação formativa promoveu sucessivos ciclos de revisão e refinamento.

Como consequência, a construção do conhecimento deixou de resultar da aprendizagem isolada de conceitos e passou a decorrer da mobilização integrada de diferentes conteúdos curriculares em torno de um mesmo problema.

Os resultados sugerem que essa organização constitui um dos principais diferenciais do MPCM-EC. Mais do que aproximar conteúdos de diferentes áreas, o modelo transforma o fenômeno investigado em elemento estruturador da aprendizagem, fazendo com que a integração curricular emergja como necessidade da própria investigação e não como uma decisão metodológica previamente imposta pelo professor.

Nessa perspectiva, a construção do conhecimento científico passa a ser compreendida como um processo de articulação entre diferentes saberes, continuamente mobilizados para interpretar evidências, elaborar explicações e validar soluções fundamentadas em problemas reais.

4.4. Mediação Docente e Protagonismo Estudantil na Consolidação do Processo Investigativo

A quarta categoria analítica buscou compreender como a mediação docente e o protagonismo estudantil se configuraram durante a implementação do MPCM-EC. Diferentemente das categorias

anteriores, que analisaram os fundamentos do modelo, sua estrutura operacional e os componentes responsáveis pela integração dos conteúdos curriculares, esta categoria concentra-se nas transformações observadas na dinâmica pedagógica estabelecida entre professor e estudantes ao longo da investigação.

A análise das diferentes fontes de evidência revela que a mediação docente não se caracterizou pela transmissão de procedimentos ou pela apresentação de respostas prontas. Sua principal função consistiu em organizar situações investigativas capazes de provocar questionamentos, estimular a argumentação e favorecer a tomada de decisões fundamentadas nas evidências produzidas pelos próprios estudantes. Dessa forma, a atuação do professor deslocou-se progressivamente da condução direta das atividades para o acompanhamento reflexivo do processo investigativo.

O diário de campo registra esse movimento em diferentes momentos da intervenção: "Durante as discussões, o professor respondia às dúvidas com novas perguntas, incentivando os grupos a retomarem seus registros e justificarem suas decisões antes de qualquer intervenção."

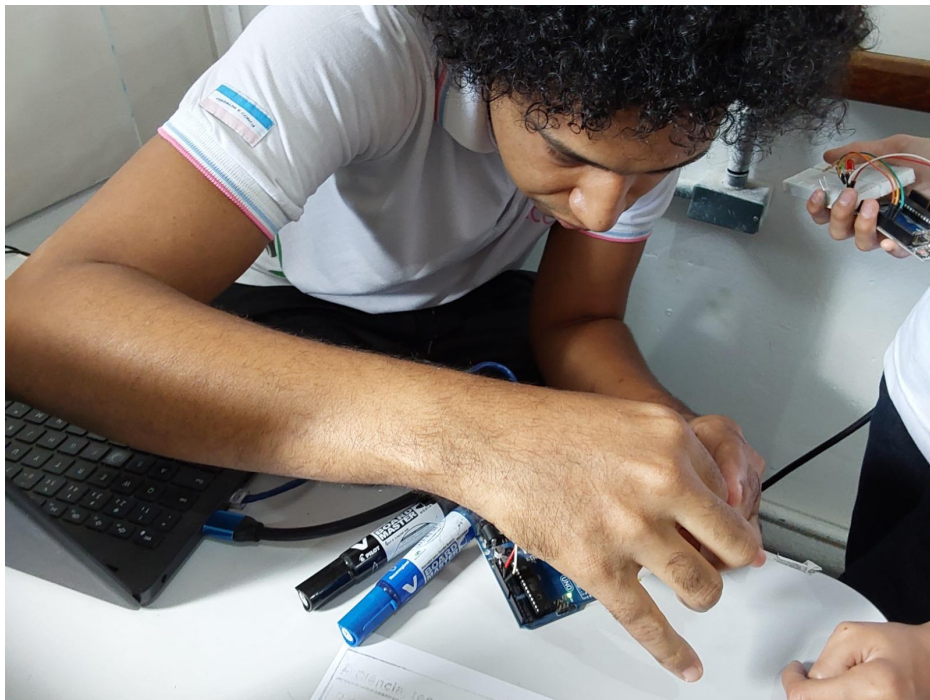
Esse tipo de mediação modificou gradualmente a natureza das interações desenvolvidas em sala de aula. Nos encontros iniciais, predominavam perguntas relacionadas à execução das atividades e à confirmação de procedimentos. À medida que a investigação avançava, entretanto, observou-se que as discussões passaram a concentrar-se na justificativa das escolhas realizadas pelos grupos, deslocando o foco da busca por respostas corretas para a construção coletiva de argumentos fundamentados.

As observações participantes corroboram essa interpretação ao evidenciar mudanças na dinâmica das interações. Progressivamente, as discussões passaram a ocorrer prioritariamente entre os próprios estudantes, enquanto a intervenção docente assumiu caráter predominantemente provocativo e reflexivo. Em vez de validar imediatamente as soluções apresentadas, o professor estimulava os grupos a confrontarem diferentes interpretações, compararem argumentos e fundamentarem suas decisões nas evidências produzidas durante a investigação.

Essa reorganização das interações também alterou a postura dos estudantes diante das situações de incerteza. As dificuldades encontradas deixaram de ser compreendidas como obstáculos que exigiam respostas imediatas do professor e passaram a constituir oportunidades para ampliar as discussões entre os integrantes dos grupos. As evidências indicam que os estudantes passaram a negociar interpretações, justificar posições divergentes e construir consensos antes de recorrer à mediação docente.

A Figura 9 ilustra momentos dessa dinâmica pedagógica, evidenciando a atuação do professor junto aos grupos durante as discussões investigativas.

Figura 9. Mediação docente durante o desenvolvimento das atividades investigativas.



Fonte: Acervo da pesquisa (2026).

Os registros fotográficos reforçam que a presença dos professores esteve associada ao acompanhamento dos processos de investigação e não ao controle da execução das tarefas. Sua atuação concentrou-se na formulação de perguntas, na ampliação das possibilidades de análise e na criação de condições para que os estudantes assumissem maior responsabilidade pelas decisões construídas coletivamente.

Essa mudança também pode ser observada na qualidade da argumentação apresentada pelos grupos ao longo da intervenção. Nas primeiras atividades predominavam respostas descritivas e justificativas baseadas predominantemente na confirmação do professor. Posteriormente, as explicações passaram a incorporar referências às evidências produzidas durante a investigação, aos registros elaborados pelos grupos e às discussões realizadas coletivamente, indicando maior autonomia na elaboração e defesa das interpretações construídas. Essa evolução pode ser sintetizada no Quadro 8.

Quadro 8. Transformações observadas na dinâmica pedagógica durante a implementação do MPCM-EC

Aspecto analisado	Situação predominante no início da intervenção	Situação predominante ao final da intervenção
Papel do professor	Organização inicial das atividades e orientação da investigação	Mediação reflexiva por meio de perguntas, problematizações e incentivo à argumentação
Papel dos estudantes	Participação condicionada às orientações do professor	Participação autônoma na discussão, justificativa e tomada de decisões
Interações em sala	Predominância das interações professor–estudante	Ampliação das interações estudante–estudante e construção coletiva das respostas
Processo decisório	Busca frequente pela validação docente	Decisões fundamentadas nas evidências produzidas durante a investigação
Argumentação científica	Explicações predominantemente descritivas	Explicações fundamentadas em evidências, justificativas e discussão coletiva

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os resultados sintetizados no Quadro 8 indicam que o protagonismo estudantil não pode ser compreendido como simples participação ativa nas atividades propostas. As evidências sugerem que ele se manifesta quando os estudantes assumem responsabilidade intelectual pelo processo investigativo, formulando argumentos, confrontando interpretações, justificando decisões e utilizando evidências para sustentar suas explicações. Nessa perspectiva, a

autonomia observada não corresponde à ausência da mediação docente, mas à capacidade crescente de conduzir a investigação com base em critérios construídos coletivamente durante o desenvolvimento das atividades.

Da mesma forma, os resultados permitem compreender a mediação docente para além da função tradicional de orientação técnica. No contexto do MPCM-EC, o professor atua como organizador das condições necessárias para que a investigação aconteça, estimulando o diálogo, a reflexão e a argumentação científica sem substituir o papel dos estudantes na construção das explicações.

Essa mudança qualitativa da atuação docente favorece a consolidação de uma dinâmica pedagógica em que a aprendizagem deixa de depender da transmissão de respostas e passa a ser sustentada pela interação entre questionamento, evidências e construção coletiva do conhecimento.

Assim, a análise desta categoria evidencia que a consolidação do processo investigativo promovido pelo MPCM-EC resulta da complementaridade entre mediação docente e protagonismo estudantil. Enquanto a mediação organiza as condições para o desenvolvimento da investigação, o protagonismo manifesta-se na capacidade dos estudantes de assumir progressivamente maior responsabilidade intelectual pela interpretação dos fenômenos, pela defesa de suas explicações e pela tomada de decisões fundamentadas em evidências.

Essa relação constitui um dos principais diferenciais pedagógicos do modelo, pois demonstra que a autonomia investigativa não se opõe à mediação docente, mas emerge justamente da qualidade das

interações estabelecidas entre professor, estudantes e conhecimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo propor e analisar o Modelo Pedagógico da Cultura Maker para o Ensino de Ciências (MPCM-EC), buscando compreender de que maneira uma prática fundamentada na Cultura Maker poderia favorecer a investigação de fenômenos contextualizados, a mobilização integrada de conhecimentos científicos e computacionais e a construção de explicações científicas pelos estudantes.

A análise qualitativa, sustentada pela triangulação entre diário de campo, observações participantes, registros fotográficos e produções dos estudantes, permitiu compreender não apenas o funcionamento do modelo em contexto real, mas também os processos pedagógicos que emergiram durante sua implementação.

Os resultados evidenciaram que o MPCM-EC constitui uma organização pedagógica coerente, na qual fundamentos teóricos, estrutura operacional, componentes didáticos e mediação docente atuam de forma articulada para favorecer a investigação científica.

Diferentemente de abordagens centradas apenas na construção de artefatos tecnológicos, o modelo organiza o processo de aprendizagem a partir de um fenômeno investigável, atribuindo sentido à mobilização dos diferentes conhecimentos necessários para compreendê-lo e explicá-lo. As análises demonstraram que a aprendizagem ocorreu em um movimento contínuo de observação, problematização, elaboração de hipóteses, construção de soluções,

validação e reflexão, caracterizando um processo investigativo consistente com os pressupostos da Cultura Maker e do Ensino de Ciências.

Outro aspecto evidenciado pela pesquisa refere-se à transformação da dinâmica pedagógica ao longo da intervenção. A mediação docente deixou de assumir uma função predominantemente orientadora para tornar-se progressivamente problematizadora, favorecendo a argumentação, a reflexão e a tomada de decisões fundamentadas em evidências. Em resposta a essa mediação, os estudantes passaram a assumir maior responsabilidade intelectual pelo processo investigativo, ampliando sua autonomia na elaboração, defesa e revisão das explicações construídas coletivamente.

A análise integrada das quatro categorias permitiu identificar um padrão recorrente que ultrapassa a descrição das atividades desenvolvidas. As evidências indicam que a aprendizagem tornou-se mais consistente quando os estudantes precisaram articular continuamente conhecimentos provenientes de diferentes áreas para compreender um mesmo fenômeno, e não quando esses conhecimentos eram abordados de forma fragmentada. Esse movimento emergiu de maneira reiterada ao longo da investigação, independentemente da etapa analisada, sugerindo que a integração entre diferentes saberes constituiu um elemento estruturante do processo de aprendizagem observado.

Nesse sentido, propõe-se a integração cognitiva como uma proposição analítica emergente deste estudo. Não se trata da formulação de uma nova teoria, mas da identificação, a partir das evidências empíricas produzidas, de um processo no qual a

compreensão dos fenômenos depende da mobilização contínua, articulada e contextualizada de conhecimentos científicos, computacionais e tecnológicos.

Essa proposição amplia a compreensão sobre o potencial pedagógico da Cultura Maker ao indicar que sua contribuição para o Ensino de Ciências não reside apenas na construção de protótipos ou no desenvolvimento de habilidades técnicas, mas principalmente na capacidade de promover a articulação cognitiva entre diferentes conhecimentos em torno da investigação de problemas reais.

Essa proposição dialoga diretamente com os pressupostos da Cultura Maker, do ensino investigativo e da aprendizagem baseada em fenômenos, ao mesmo tempo em que oferece uma contribuição conceitual derivada da análise qualitativa realizada. Assim, o MPCM-EC amplia o debate sobre modelos pedagógicos para a Cultura Maker ao apresentar uma organização que integra intencionalidade pedagógica, contextualização dos fenômenos, investigação científica e mobilização articulada de conhecimentos, oferecendo subsídios para sua aplicação em diferentes contextos educacionais.

Como toda investigação qualitativa, este estudo apresenta limitações. A pesquisa foi desenvolvida em um contexto específico, envolvendo uma única instituição de ensino e um fenômeno investigativo relacionado à irrigação automatizada na cafeicultura, o que recomenda cautela quanto à generalização dos resultados. Além disso, a análise concentrou-se na implementação do modelo em uma intervenção pedagógica delimitada temporalmente, não contemplando seus efeitos em processos formativos de longa duração.

Diante dessas limitações, pesquisas futuras poderão investigar a aplicação do MPCM-EC em diferentes etapas da Educação Básica e da Educação Profissional, bem como em outras áreas do conhecimento e em distintos fenômenos investigáveis. Também se mostram promissoras investigações que aprofundem a proposição analítica da integração cognitiva, examinando sua manifestação em diferentes contextos educacionais e sua relação com processos de aprendizagem, desenvolvimento da argumentação científica e resolução de problemas complexos.

Por fim, considera-se que a principal contribuição deste estudo não consiste apenas na proposição de um novo modelo pedagógico, mas na demonstração, fundamentada em evidências empíricas, de que a Cultura Maker pode ser organizada pedagogicamente para favorecer processos investigativos em que a aprendizagem emerge da articulação contínua entre fenômenos, conhecimentos e práticas.

Ao evidenciar essa dinâmica, o MPCM-EC oferece um referencial teórico-metodológico para pesquisadores e professores interessados em desenvolver práticas investigativas contextualizadas no Ensino de Ciências, contribuindo para o avanço das discussões sobre modelos pedagógicos fundamentados na Cultura Maker.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BLIKSTEIN, Paulo. **Digital fabrication and "making" in education: the democratization of invention**. In: WALTER-HERRMANN, Julia; BÜCHING, Corinne (org.). *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*. Bielefeld: Transcript Publishers, 2013. p. 1-21.

BLIKSTEIN, Paulo. Maker **Movement in Education**: History and Prospects. In: DE VRIES, Marc J. (ed.). Handbook of Technology Education. Cham: Springer, 2018. p. 419–437. DOI: 10.1007/978-3-319-44687-5_33.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Computação** – Complemento à BNCC. Brasília: MEC, 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BYBEE, Rodger W. **The BSCS 5E instructional model**: origins, effectiveness, and applications. Colorado Springs: BSCS, 2006.

CAMPOS, Carlos Roberto Pires (org.). **Aulas de campo para alfabetização científica**: práticas pedagógicas escolares. Vitória: Edifes, 2015. 284 p. (Série Pesquisas em Educação em Ciências e Matemática, v. 6). ISBN 978-85-8263-092-1.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 18, n. 3, p. 765–794, 2018. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2018183765.

CARVALHO, Marie Jane Soares; NEVADO, Rosane Aragón de; MENEZES, Crediné Silva de. **Arquiteturas pedagógicas para educação a distância**: concepções e suporte telemático. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CRESWELL, John W.; POTH, Cheryl N. **Qualitative inquiry and research design**: choosing among five approaches. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2018.

DEWEY, John. **Como pensamos**. 3. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

MARTINEZ, Sylvia Libow; STAGER, **Gary**. **Invent to Learn**: making, tinkering, and engineering in the classroom. 2. ed. Torrance: Constructing Modern Knowledge Press, 2019.

PAPERT, Seymour. **Mindstorms**: children, computers, and powerful ideas. 2. ed. New York: Basic Books, 1993.

PEDASTE, Margus et al. **Phases of inquiry-based learning**: definitions and the inquiry cycle. Educational Research Review, Amsterdam, v. 14, p. 47-61, 2015.

RESNICK, Mitchel. **Lifelong Kindergarten**: cultivating creativity through projects, passion, peers, and play. Cambridge: MIT Press, 2017.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. **Grandes Desafios da Educação em Computação no Brasil (2025–2035)**. Porto Alegre: SBC, 2025. DOI: 10.5753/sbc.17542.1.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução à pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

WING, Jeannette M. **Computational thinking and thinking about computing**. Philosophical Transactions of the Royal Society A:

Mathematical, Physical and Engineering Sciences, London, v. 366, n. 1881, p. 3717-3725, 2008.

WING, Jeannette M. **Computational thinking**. Communications of the ACM, New York, v. 49, n. 3, p. 33-35, 2006.

YIN, Robert K. **Case study research: design and methods**. 5. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2014.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores utilizaram ferramentas de Inteligência Artificial Generativa exclusivamente como apoio à revisão linguística, reorganização textual, aprimoramento da clareza da escrita, sugestões de estruturação do manuscrito e auxílio na organização de informações bibliográficas. Todas as decisões relativas à concepção da pesquisa, delineamento metodológico, seleção e interpretação da literatura, análise dos dados, elaboração das figuras, discussão dos resultados, redação científica final e aprovação do conteúdo permaneceram sob responsabilidade exclusiva dos autores, que revisaram criticamente todo o manuscrito e assumem integral responsabilidade por seu conteúdo.

¹ Doutorando do Programa EDUCIMAT do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vila Velha. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Doutorando do Programa EDUCIMAT do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vila Velha. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Doutorando do Programa EDUCIMAT do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vila Velha. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Doutorado em História Social da Cultura - Letras pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁶ Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)