



Uma proposta de uma estrutura didática para o ensino de física para as engenharias: análise do componente projeto integrador

Didactic Structure Proposal for Physics Education in Engineering: Analysis of the Integrative Project Component

José Benício da Cruz Costa^{*1}, Alexandre Guimarães Rodrigues¹,
Renato Martins das Neves¹

¹Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.

Recebido em 21 de janeiro de 2025. Revisado em 30 de março de 2025. Aceito em 02 de maio de 2025.

O trabalho apresenta um artefato materializado na forma de estrutura didática como um curso de Física Básica voltado para a formação de engenheiros a fim de atender às demandas formativas requeridas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais do ensino de graduação para as engenharias (DCN) e pelo paradigma de formação por competências. Tal artefato possui uma heurística denominada tríade estruturante. Ambos foram desenvolvidos com base na metodologia Design Science Research (DSR). A avaliação do constructo foi realizada sobre a sua componente de maior complexidade, o Projeto Integrador (PI), via duas metodologias; a avaliação analítica que trata do alinhamento interno e da adequação de finalidade do artefato às DCNs; e a avaliação experimental que lidou com a adesão e qualidade da participação discente nessa componente (PI). A consistência interna do artefato se mostrou robusta, de modo que o mesmo atendeu a todos os requisitos de atualização didática exigidos pela pesquisa. Assim sendo, é factível externar a conclusão de que o produto educacional produzido por esta pesquisa se revela particularmente útil para a atualização do ensino de física no contexto das engenharias.

Palavras-chave: Diretrizes Curriculares Nacionais, Formação por competências, Ensino de física para as engenharias, Design Science Research, Projeto Integrador.

This paper presents an artifact materialized in the form of a didactic structure as a Basic Physics course aimed at training engineers in order to meet the training demands required by the National Curricular Guidelines for undergraduate engineering education (DCNs) and by the competency-based training paradigm. This artifact is composed by a heuristic called structuring triad. Both ones were developed and based on the Design Science Research (DSR) methodology. The assessment of the construct was carried out on its most complex component, the Integrative Project, via two methods: the analytical assessment that deals with the internal alignment and suitability of the purpose of the artifact to the DCNs; and the experimental assessment that deals with the adherence and quality of student participation in this component. There are also presented the types of resources developed and the general characteristics of the teaching-learning activities of the artifact. The internal consistency of the artifact proved to be robust, so that it met all the didactic updating requirements demanded by the research. Therefore, it is feasible to conclude that the educational product produced by this research proves to be particularly useful for updating physics teaching in the context of engineering.

Keywords: National Curricular Guidelines, Competency-based training, Physics teaching for engineering, Design Science Research, Integrative Project.

1. Introdução/Justificativa

A formação do engenheiro enfrenta desafios significativos relacionados ao ensino da física, que é pilar fundante em todas as áreas das engenharias. A problemática surge da alta taxa de reprovação, da percepção negativa dos alunos em relação à relevância das ciências básicas e das características usuais dos cursos, que muitas vezes

não conseguem conectar teoria e prática de forma eficaz. A inadequação pedagógica, a falta de contextualização dos conteúdos e a metodologia tradicional expositiva são frequentemente citadas como causas da desmotivação e do baixo desempenho dos alunos [1–4].

A necessidade de inovação e de atualização didática no ensino de física para cursos de engenharia torna-se também evidente diante da necessidade de implementação das novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs). Essas diretrizes, entre outros requisitos, destacam uma série de competências a serem desenvolvidas pelos futuros engenheiros [5].

*Endereço de correspondência: benicio.fisica@gmail.com
Editor-Chefe: Marcello Ferreira

O conceito de inovação em educação assume papel importante na compreensão da problemática apresentada no parágrafo anterior. Em um trabalho de revisão sistemática Tavares [6] reúne evidências que permitem superar a quase-sinonímia existente entre *inovação*, *modernização* e *atualização* em educação ao extrair da própria literatura como este assunto vem sendo interpretado pelos pesquisadores dessa área. Segundo esse autor, no contexto educacional, o termo *inovação* vem sendo compreendido como: “*algo positivo a priori; sinônimo de mudança e/ou de reforma educacional; modificação de propostas curriculares; alteração de práticas educacionais costumeiras em um grupo social.*”

Para os interesses desta pesquisa, assumiu-se como foco o termo *atualização*, ao qual, no contexto educacional, admite-se carregar dois significados: Mudança ou reforma educacional, considerando a implementação das DCNs, portanto, como sendo algo de um contexto mais amplo; e, alterações de práticas usuais¹ em um grupo social, que é exatamente o cenário desta pesquisa².

De posse dessa definição, Costa e colaboradores [7] conseguiram delimitar melhor o problema expresso nos parágrafos anteriores por meio de outro trabalho de revisão sistemática, no qual investigaram propostas de atualização no Ensino de Física em Escolas de Engenharia do Brasil, publicadas nos principais fóruns da área³, desde 2019, ano de instituição das DCNs, até 2024. Nessa pesquisa os autores identificaram, entre outras descobertas, a falta de publicações que apresentassem estruturas didáticas completas, testadas e avaliadas, que pudessem apoiar processos de atualização em Cursos de Física Básica voltados para as engenharias.

O Laboratório de Inovação Didática em Física (LIDF), grupo que, desde 2017, se dedica a enfrentar os desafios no ensino de Física para engenharias [8], utilizou a metodologia denominada Design Science Research (DSR) [9, 10] como ferramenta de Pesquisa e de Desenvolvimento (P&D) para a criação e avaliação de um artefato com foco na resolução do problema apresentado. O artefato desenvolvido, descrito como uma estrutura didática, é composto por uma heurística de desenvolvimento e por diversos recursos de planejamento e de ensino-aprendizagem, é denominado **Curso LIDF de Física Básica**.

¹ Considerando usuais as práticas consideradas tradicionais no ensino das físicas básicas para as engenharias, a saber, aquelas voltadas para cursos eminentemente teóricos e quase que inteiramente voltados para a resolução de problemas de “lápiz e papel” de livros textos de coleções consagradas das áreas de física básica.

² Por conta disso, acredita-se não haver necessidade de “carregar” os termos *inovação* e *modernização* no restante do documento, uma vez que estes já ficam compreendidos pela significação atribuída à *atualização* de caráter educacional.

³ Considerando como principais fóruns de publicação de trabalhos de Ensino de Física para as Engenharias no Brasil: a) Revista Brasileira de Educação em Engenharia, b) Anais do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, c) Documentos Técnicos (livros, relatórios) publicados pela Associação Brasileira de Educação em Engenharia ABENGE e d) Repositório Scielo Brasil.

Por intermédio dos procedimentos de avaliação Analítica e Experimental⁴ sobre o artefato, os autores buscaram responder a seguinte pergunta de pesquisa:

O Curso LIDF de Física Básica para as engenharias é uma estrutura didática adequada para fins de promover atualização didática alinhada ao desenvolvimento das competências previstas nas DCNs?

Para esse intento serão apresentados os resultados de consistência interna do constructo, bem como a análise sobre a participação discente na componente de maior complexidade do mesmo, o Projeto Integrador (PI).

2. Referencial Teórico do Artefato

As Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) da engenharia, publicadas em 2019, são um conjunto de normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) do Brasil, que definem os princípios, fundamentos, condições e finalidades para a organização, desenvolvimento e avaliação dos cursos de graduação em Engenharia. Essas diretrizes servem como fundamento para a reformulação de todos os Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPCs) e visam garantir que os egressos dos cursos de Engenharia possuam um perfil completo, composto por competências técnicas e humanísticas, a fim de formar engenheiros capazes de atuar de forma ética e responsável na sociedade.

Ao estabelecer comparações entre as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) de 2002 [11] e a versão mais recente, de 2019 [5], é possível identificar tanto semelhanças quanto diferenças significativas entre os dois documentos. Ambas as versões apresentam como foco comum a formação generalista, humanista, crítica e reflexiva dos futuros engenheiros. Também compartilham a preocupação em potencializar nos estudantes a capacidade de absorver e desenvolver novas tecnologias, promovendo, assim, uma formação capaz de acompanhar os avanços científicos e tecnológicos.

Tais semelhanças, no entanto, não se esgotam nesses aspectos. Para fins desta análise, opta-se por aprofundar o exame da principal diferença entre os documentos: o paradigma formativo proposto em cada uma das edições.

Nesse sentido, mesmo já adotando o paradigma da formação por competências, as DCNs de 2002 ainda apresentam um modelo fortemente centrado em conteúdos técnicos e específicos da engenharia, apoiado

⁴ A avaliação Analítica diz respeito à coerência interna do artefato, ou seja, avalia se as atividades estão em conformidade com o desenvolvimento das competências destacadas pelas DCNs.

A avaliação Experimental analisa o desempenho da participação dos discentes quando confrontados com a atividade proposta, ou seja, avalia-se a exequibilidade da proposta considerando que o grau de participação do discente é proporcional ao desenvolvimento das competências.

Ambos os métodos de avaliação estão descritos na seção 4.2 deste artigo.

em uma abordagem tradicional de ensino, baseada na transmissão de conhecimentos de forma fragmentada e sequencial.

Em contraste, as DCNs de 2019 representam uma mudança de perspectiva significativa, ao trazer o foco para o desenvolvimento de competências e habilidades amplas, indo além do domínio técnico. A nova diretriz valoriza uma aprendizagem centrada no estudante, incentivando o uso de metodologias ativas e promovendo uma formação integral que contempla, além dos conhecimentos técnicos, aspectos éticos, sociais e ambientais. Essa atualização alinha a formação dos engenheiros às exigências contemporâneas da sociedade e do mercado de trabalho, incorporando práticas pedagógicas inovadoras que favorecem a autonomia, o pensamento crítico e a capacidade de adaptação a cenários em constante transformação.

Entre os vários papéis de relevo desempenhados pelas DCNs mais recentes, destaca-se a elaboração do conjunto de competências gerais a serem garantidas na formação do engenheiro [5].

Desta forma, o desenvolvimento de competências, como explicitado a nível “macro” nas DCNs e adaptadas ao nível “meso” nos PPCs, assume papel central na formação dos engenheiros [12, 13]. É importante ressaltar que essas diretrizes nacionais documentam fortemente a necessidade de sólida formação em ciências básicas. De posse dos objetivos formativos mais gerais requeridos para o artefato (ver final da seção 2.2), cabe investigar quais abordagens metodológicas subsidiam a construção dos recursos que compõem o mesmo. Apresenta-se, em seguida, as metodologias de maior relevância para o design do componente de maior complexidade do artefato: o Projeto Integrador (PI).

A Instrução por Modelagem IM, proposta pelo Físico e americano David Hestenes, é segundo a American Modeling Teachers Association [14], uma estrutura metodológica projetada para envolver os alunos em todas as etapas da modelagem: construção, teste, análise e aplicação de modelos científicos. Complementar ao trabalho de Hestenes, desenvolveu-se no Transformative Learning Technologies Lab TLTL, a Modelagem Bifocal MB, a qual complementa os ciclos de modelagem de Hestenes com uma nova dimensão, na qual o aluno é desafiado a desenvolver paralelamente um modelo físico e outro computacional. Na Figura 1 expressa-se de maneira sintética os princípios dessa abordagem metodológica [15].

Propostas metodológicas que se utilizam de modelos são consolidadas no ensino de engenharia. A Escola

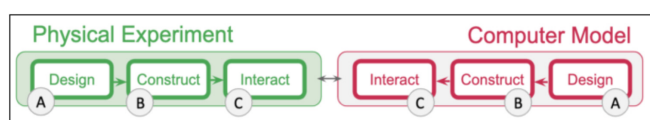


Figura 1: Infográfico que ilustra as etapas da MB. Retirado de [15].

Politécnica da Universidade de São Paulo USP há mais de duas décadas desenvolve modelos de estruturas e experimentos para complementar os ensinamentos em sala de aula [16]. Na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará UFPA também foi feito uso de modelos didáticos nos trabalhos desenvolvidos no âmbito do então Laboratório Didático (LABDID) por [17]. Atualmente, esta linha metodológica segue em desenvolvimento em diversos trabalhos desenvolvidos pelo LIDF [18–20].

3. Apresentação do Artefato Desenvolvido

Em 1969, Herbert Simon lança sua obra seminal “*The Sciences of the Artificial*” [21], na qual propõe um novo paradigma metodológico e científico para trabalhar de forma mais eficaz, aquilo que é desenvolvido por projeto, ou seja, por constructo humano, sendo, portanto, voltado para algo de natureza artificial. Simon argumenta que um artefato pode ser discutido em termos descritivos (referindo-se à comunicação detalhada de seus principais componentes e informações) e imperativos (no sentido de definir questões normativas de seu desenvolvimento, ou seja, os princípios de design que guiaram sua concepção) [9].

O artefato desta pesquisa é uma proposta de atualização didático-metodológica para atender a um curso de Física Básica (Física I – Mecânica) voltado para a formação de engenheiros. Mais especificamente, pode ser definido como uma estrutura didática composta por uma concatenação estratégica de recursos instrucionais específicos que foram desenvolvidos com a finalidade para fazer frente às necessidades de uma atualização didático-metodológica que esteja alinhada aos princípios de desenvolvimento das competências previstas nas DCNs [5].

Tal artefato pode, também, ser qualificado como um Produto Educacional (PE), pois neste contexto Rizzatti e colaboradores [22, p. 4] definem PE como: “[...] o resultado tangível oriundo de um processo gerado a partir de uma atividade de pesquisa, [...] que deve ser elaborado com o intuito de responder a uma pergunta/problema oriunda do campo de prática profissional, podendo ser um artefato real ou virtual, ou ainda, um processo”.

Os elementos que o compõem se dividem em dois grupos: Recursos de Planejamento e Gestão (recursos voltados para uso docente, com os quais os alunos não têm interação direta) e o Recursos de Ensino e Aprendizagem. Para o presente trabalho é apresentado e avaliado apenas os recursos referidos como sendo de ensino-aprendizagem.

3.1. Apresentação dos componentes do artefato em termos descritivos

Neste trabalho os recursos de ensino-aprendizagem são definidos como toda e qualquer composição de uma ou

mais ações envolvendo interação do tipo professor-aluno, monitor-aluno ou aluno-aluno voltadas para consecução de objetivos de aprendizagem ou para formação de habilidades/competências.

São apresentados em grupos, tais como:

- a) *que integram teoria e prática*: Tais recursos proporcionam uma vivência mais profunda dos conceitos estudados no curso. São esses: Projeto Integrador e Atividades Mão na Massa. (itens 1 e 2 do Quadro 1);
- b) *com ênfase na metacognição*: Esses recursos possuem como característica o incentivo aos alunos para que reflitam sobre seu próprio processo de aprendizado. São esses: Aprendizagem Crítica de Rodrigues [23]; O Que Está em Jogo; Perguntas Instigantes; Objetivos de Aprendizagem; O Que Está em Jogo; Portfólios. (respectivamente: itens 3, 4, 5, 6 e 11 do Quadro 1);
- c) *de preparação para as atividades*: Recurso que permite ao aluno ter tempo para mobilizar saberes e lacunas educacionais, tornando o momento presencial mais rico e intenso (item 7 do Quadro 1). Recurso: Teste de Leitura;
- d) *voltados para a avaliação/aprendizagem dos estudantes*: Esses recursos incluem modalidades

avaliativas como listas e provas. No entanto, diferem significativamente em sua concepção e nas abordagens metodológicas utilizadas em sala de aula, quando comparados a recursos com o mesmo “rótulo” desenvolvidos em cursos de graduação de abordagem mais tradicional. São esses: Listas conceituais e seus processos de resolução; Listas e resoluções dialogadas de exercícios e problemas; Avaliação escrita individual (respectivamente: itens 8, 9 e 10 do Quadro 1).

A apresentação dos principais recursos de ensino-aprendizagem do artefato não visa esgotar as múltiplas possibilidades de composição de usos didáticos entre tais recursos. Todavia, a partir da explicação e da exemplificação, admitimos ser possível fornecer subsídios para a defesa de que os mesmos possuem potencialidade de promover o desenvolvimento de competências destacadas nas DCNs.

3.2. Apresentação do artefato em termos imperativos

Apresentamos o delineamento do artefato por intermédio da chamada *tríade estruturante*, composta pelos seguintes elementos: *Questionamentos Estruturantes*; *Requisitos Fundamentais*; *Objetivos Formativos*.

Quadro 1: Quadro de apresentação dos recursos de ensino – aprendizagem.

#	Nome	Descrição do recurso
1	Projeto integrador LIDF (PI)	É a atividade de ensino-aprendizagem mais complexa e desafiadora do artefato, a qual é baseada na Instrução por Modelagem [24, 25] e Aprendizagem Baseada em Projetos ABPj [26, 27], sendo especialmente inspirada nos trabalhos desenvolvidos na Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo USP [28]. O PI LIDF desafia o aluno a projetar, construir e comparar modelos físico e computacional vinculados a situações-problemas propostas ou não pela equipe docente que são análogas à prática profissional do engenheiro. Os alunos trabalham em equipe e produzem um relatório estruturado com base no que é fornecido pela equipe LIDF. Ao final deste percurso, defendem seus projetos de forma oral perante uma banca de avaliadores. Os alunos são estimulados a executar o projeto cumprindo marcos na forma de entregas claras com datas previstas em um cronograma, por exemplo: o memorial de cálculo do modelo. Os alunos contam ainda com vários recursos desenvolvidos para apoiar essa atividade. São eles: a) Guia do Projeto Integrador; b) Guia Sintético do PI LIDF; c) Tutorial de ferramenta de modelagem FTOOL; d) Tutorial de Software de Cálculo MathCad; e) Orientação para a confecção do Diário de Bordo da Pesquisa; f) Rubrica de avaliação da apresentação e g) Modelo de Relatório.
2	Atividade Mão na Massa (AMM) LIDF	Buscando promover oportunidade de aprendizagem pela prática [24, 25, 29]. A equipe LIDF desenvolveu atividades experimentais que permitem aos alunos trabalhar em grupos de forma investigativa (diferente de práticas usuais de laboratório baseadas em procedimentos do tipo “receita de bolo”) onde a tomada de medidas físicas tem relevância e os alunos devem decidir o que deve ser medido e como será medido. As atividades são planejadas com um grau de complexidade adequado às condições de tempo, público e espaço físico disponíveis. Em alguns casos requerem um espaço físico e recursos apropriado para que os alunos possam se movimentar e interagir com os experimentos típicos da AMM ⁵ [30]. As AMMs se materializam para o aluno na forma de fichas como as dos exemplos a seguir da Máquina de Atwood e Momento de Inércia.

⁵ Os aparatos experimentais utilizados nas AMMs são, por princípio, diferentes dos kits industrializados, que são muitas das vezes construídos para minimizar os erros na tomada de medidas, limitando que os alunos possam tomar decisões (certas ou erradas) sobre o que medir e como medir. Em muitas situações nos cursos do LIDF os kits industrializados são desmontados e recombinaos para só assim, serem disponibilizados aos alunos com outras possibilidades e intencionalidades formativas.

Quadro 1: Continued

#	Nome	Descrição do recurso
3	Aprendizagem Crítica de Rodrigues (ACR) [23].	É um protocolo metacognitivo proposto por Rodrigues [13] que propõe ao aluno questionar-se sobre o processo de aprendizado. O exercício compreende um total de quatro auto-questionamentos: a) O que eu sei? b) O que eu não sei? c) Porque eu não sei? d) Porque eu deveria saber? Ou de outra forma, isso está relacionado a que? O recurso é aplicado recursivamente ao longo de todo o curso a fim de que o aluno sempre se conscientize sobre suas dificuldades, limitações e dos seus “pontos de partida” em nível conceitual e operacional, a fim de permitir que os elos entre os conhecimentos os seus conhecimentos prévios e os adquiridos se tornem mais duradouros e significativos.
4	O que está em jogo	É uma atividade em que o professor em sala de aula dialoga sobre as intencionalidades didáticas e sobre a relevância das atividades propostas para os alunos, utilizando um inventário previamente construído. Compreendendo ser essencial a busca de uma aprendizagem realmente significativa [23, 31] criou-se essa estratégia que visa dar clareza ao aluno em relação aos aspectos formativos quanto ao que será mobilizado. Este recurso ajuda a contextualizar o conteúdo, seja declarando aos estudantes as habilidades/competências almejadas para a atividade proposta, seja tratando sobre os princípios de aplicação prática do que estão aprendendo ou sobre o que estão mobilizando na resolução do problema/situação trabalhada. Cada atividade LIDF tem seu próprio inventário O que está em jogo, como exemplo observe o recurso Prova LIDF: O que está em jogo na Avaliação.
5	Perguntas instigantes	Envolve a formulação de questões que desafiam os alunos a pensar criticamente e a refletir profundamente sobre o conteúdo estudado, ajudando o aluno a discernir e compreender o conceito central da pergunta de maneira precisa. Essas perguntas são projetadas para ir além da simples memorização de fatos, incentivando os alunos a explorar diferentes perspectivas, fazer conexões e desenvolver habilidades de pensamento crítico. O recurso emerge do professor ou dos alunos sob estímulo do docente e podem ser de qualquer natureza (conceituais, procedimentais, aplicadas, epistemológicas, etc. . .) ou grau de complexidade. Podem ser consideradas como fontes de perguntas instigantes: Listas conceituais do curso; dúvidas em relação ao procedimento de resolução de uma questão ou situação-problema proposta; desafio conceitual proposto em livro texto (ou de qualquer outra fonte); questionamentos em relação à aplicação dos conhecimentos em um contexto real de experimento ou de aplicação ao mundo das engenharias; questionamentos de natureza histórica ou filosófico a respeito de algum conceito e/ou teoria; questionamento sobre implicações éticas do conhecimento científico; etc. Normalmente separa-se uma parte do quadro (à direita) para o registro dessas perguntas em cada encontro letivo. A seguir, um documento que reúne as perguntas instigantes presentes nos relatórios do PI produzidos pelos alunos. Inventário de Questões Instigantes
6	Objetivos de Aprendizagem	São declarações claras e específicas feitas pelo professor que descrevem o que os alunos devem ser capazes de fazer ou entender após a conclusão da atividade. São normalmente, mas não obrigatoriamente, organizados com base nos capítulos da estrutura didática. Eles são fundamentais para orientar o planejamento e a avaliação do ensino, garantindo que tanto educadores quanto alunos tenham uma direção clara a seguir. Ajuda também a definir expectativas, motivar o engajamento, ao mesmo tempo que facilita a avaliação do progresso, permitindo que todos saibam exatamente o que se espera alcançar. Este recurso é construído com uma ferramenta autoral subsidiada pela Taxonomia de Bloom [32]. A ferramenta de desenvolvimento do recurso sendo aplicado a uma avaliação na disciplina é apresentada como exemplo (Prova de Vetores)
7	Teste de leitura (Sala de Aula invertida adaptada)	Nesta atividade utiliza-se recursos de sala de aula invertida [33] no qual o aluno recebe previamente o material para preparar-se para a aula, sendo inquirido na forma de um formulário eletrônico sobre aspectos de sua leitura. Exemplo de teste de leitura no. Teste de Leitura
8	Listas conceituais e seus processos de resolução	Recurso caracterizado por listas com questões originais que abordam conceitos-chaves ou estruturantes para a disciplina, abordando desde da concepção intuitiva do conceito até a conceituação matemática rigorosa do mesmo, passando por esmiuçar grandezas físicas, relações de dependência e análise dimensional. Incluem também aspectos que trabalham o ponto de partida do conceito em uma determinada situação-problema, passando por análise de casos limites entre outras possibilidades. Alunos recebem uma lista com questões conceituais com pelo menos 48hs de antecedência ao encontro presencial, respondem e debatem em sala com a mediação do professor. No debate deve-se buscar equidade na participação. Com base neste princípio é produzida em sala de aula uma construção colaborativa das respostas com foco na excelência conceitual apoiada na síntese que o professor consolida no quadro. Como exemplo do recurso, disponibilizamos três listas no link.

Quadro 1: Continued

#	Nome	Descrição do recurso
9	Listas e resoluções dialogadas de exercícios e problemas	A resolução dialogada de exercícios e problemas concebida pelo LIDF é uma abordagem que promove a interação e a troca de ideias entre alunos e professores, preferencialmente na solução de problemas clássicos como aqueles que definem situações estruturantes da disciplina ou módulo, por exemplo no ciclo da dinâmica: problemas envolvendo blocos suspensos por cordas e polias em planos inclinados com diferentes angulações e condições de atrito. Possibilitam aos alunos a mobilização de saberes que estão relacionados aos objetivos de aprendizagem (do módulo) e/ou formativos do curso. O recurso pode ser potencializado com o uso concatenado com outros instrumentos metacognitivos do artefato, tais como O que está em jogo, Aprendizagem Crítica de Rodrigues; Perguntas Instigantes. O material é disponibilizado ao aluno para que de forma autônoma possa lidar com exercícios selecionados, originais e/ou adaptadas livro texto, com diversos graus de dificuldades. link com exemplo
10	Avaliação escrita individual	O recurso é concebido e estruturado levando em consideração os seguintes aspectos: Objetivos de Aprendizagem do módulo; as competências almejadas para o curso, níveis cognitivos de Bloom e a tabela do que está em jogo (item 4 deste quadro). Busca desafiar o aluno com questões abertas ricas em análises conceituais, procedimentais e operacionais. Esse tipo de avaliação vai além da simples memorização de informações, exigindo que os alunos demonstrem um entendimento profundo e apliquem seu conhecimento de maneira crítica, reflexiva e metacognitiva Um exemplo do recurso está disponível no link.
11	Portfólio	Documento individual no qual o aluno apresenta um conjunto de perguntas/questões que são escolhidas por ele próprio por serem consideradas como instigantes e/ou importantes para a sua aprendizagem e formação. A escolha pode ser relacionada à escolha das questões instigantes realizadas ao longo do curso, mas não fica restrita a ela. O aluno deve responder a cada pergunta escolhida e justificar a escolha da mesma para compor o documento. Em cada encontro os alunos são estimulados pelo professor a criarem e registrarem seus próprios questionamentos a respeito do objeto de conhecimento trabalhado. Tal recurso constitui-se como um recurso de dupla finalidade que demanda e promove engajamento cognitivo de alto nível e que, como tal, pode contribuir para uma aprendizagem significativa para os aprendizes. Os alunos contam com a orientação do professor bem como o documento de Orientação a seguir: Orientação Portfólio

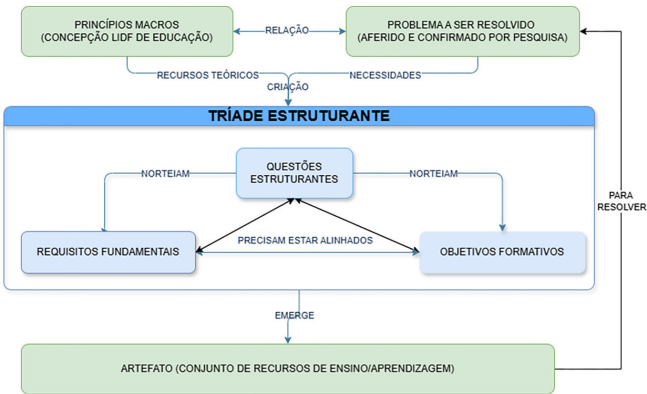


Figura 2: Fluxograma explicando a concepção da Tríade Estruturante na heurística de desenvolvimento do artefato (explícita no balão na cor azul).

A Figura 2, apresenta a tríade e seus elementos em um fluxograma que representa a heurística de desenvolvimento do artefato. De acordo com esse fluxograma, da relação entre o problema a ser resolvido e a concepção de educação defendida pelo pesquisador, emergem três elementos que, quando inter-relacionados e coerentemente alinhados, fornecem aos designers subsídios para a concepção e construção de atividades com potencial para enfrentar o referido problema de pesquisa.

Os *Questionamentos Estruturantes* (QE) contribuem para nortear e sintetizar alguns aspectos essenciais para o planejamento do artefato em forma de indagações

Quadro 2: Questionamentos estruturantes componente da heurística de desenvolvimento.

SIGLA	Questionamentos estruturantes desenvolvidos no trabalho
QE.1	Como transmitir aos alunos a responsabilidade em ser protagonista do processo de aprendizagem? Como colocá-los no “jogo” para provocar mudança de atitude por parte deles, ao mesmo tempo em que se destaca os desafios enfrentados pelo engenheiro e a centralidade do papel do estudante?
QE.2	O que os alunos consideram importante para a formação deles? Ou ainda, como eles percebem as principais intencionalidades didáticas e formativas por parte do docente?
QE.3	Quais saberes, habilidades e competências devem ser levados em conta na física básica para a formação de engenheiros?
QE.4	Que vivências se almeja para a formação dos engenheiros? Que práticas de ensino-aprendizagem e avaliativas devem ser proporcionadas aos alunos? Que tipos de desafios e de tarefas devem ser propostas?

de natureza didática e/ou epistemológica que permitem levantar possibilidades de escolha docente de diversas ordens. Esses questionamentos estão expostos no Quadro 2.

Os Requisitos Fundamentais (RF), expressos no Quadro 3 a seguir, levam em consideração as demandas indiretamente apontadas pelos questionamentos citados

Quadro 3: Requisitos fundamentais de design do artefato.

SIGLA	Requisitos fundamentais para inovação didática de qualidade efetiva
RF.1	Levar em consideração a curiosidade e a percepção do aprendiz em relação ao que é apreendido por ele próprio;
RF.2	Estimular questionamentos reflexivos visando a promoção de aprendizagem significativa.
RF.3	Conter atividade complexa baseada em projetos (ABPj) que emule a prática usual do engenheiro;
RF.4	Atender a um conjunto de habilidades e competências previamente estabelecidas;
RF.5	Estar alinhado às práticas inovadoras;
RF.6	Conter variados e diversificados recursos de ensino-aprendizagem a fim de atender diversas demandas formativas;
RF.7	Conter atividades experimentais investigativas;
RF.8	Conter ampla variedade de modalidades avaliativas;
RF.9	Ser adequado à carga horária prevista no PPC do curso.

Quadro 4: Objetivos formativos de design do artefato.

SIGLA	Objetivos fundamentais para inovação didática de qualidade efetiva
OF.1	Analisar e compreender conceitualmente os fenômenos físicos por meio de modelos físicos matemáticos e computacionais verificados e validados por experimentação;
OF.2	Conceber, projetar, analisar e gerenciar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos;
OF.3	Comunicar-se eficazmente na forma escrita, oral e gráfica;
OF.4	Desenvolver/Potencializar a capacidade de trabalho em equipe;
OF.5	Aprender de forma autônoma a lidar com situações e contextos complexos sendo capaz de assumir atitude investigativa e autônoma com vista também a aprender a aprender.

anteriormente. Em acordo com tais requisitos, o artefato deve.

Além dos dois elementos de design explicados anteriormente, foi necessário produzir também *Objetivos Formativos* (OF) que, além de alinharem-se com os *Requisitos Fundamentais* (RFs), devem ser sinérgicos às DCNs e aos Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPCs) de engenharia, de forma a alinhar e refinar a finalidade do artefato. Esses objetivos estão dispostos no Quadro 4.

O conjunto OF apresentado representa uma das “saídas” previstas no DSR, definida como a “formalização das faces do problema”⁶ [8, 2021, p. 134]. Para esta pesquisa, trata-se da síntese dos objetivos formativos

⁶ Por saída, compreenda-se um dos resultados (outputs) decorrentes do processo da pesquisa.

almejados para o artefato que tem como função delimitar o que pode ser atendido por uma disciplina de Física Básica, considerando as competências gerais previstas no artigo 4º da DCN.

Vale ressaltar que, diferentemente dos outros elementos da tríade, os OFs, são apresentados aos alunos no primeiro dia de aula como parte da atividade de apresentação do plano de curso da disciplina.

3.3. O Projeto Integrador: principal elemento do artefato

O componente desenvolvido que mais fortemente mobiliza competências, e que, conseqüentemente, é o de maior complexidade na estrutura didática é o Projeto Integrador (PI). Para o PI foco de interesse deste trabalho, os alunos foram desafiados a construir um modelo físico de uma ponte treliçada fazendo uso de hastes de madeira (palitos de picolé) e concomitante a isso, um modelo matemático-computacional da mesma estrutura. Os modelos físico e virtual deveriam ser comparados em um ensaio destrutivo de carga, permitindo ao aluno comparar o desempenho previsto no modelo matemático-computacional com o desempenho real.

Uma série de ferramentas, apresentadas sinteticamente no Quadro 5, foram desenvolvidas ou adaptadas

Quadro 5: Apresentação das ferramentas disponibilizadas aos alunos.

Recurso (ferramenta)	Finalidade no PI
Guia PI – LIDF	– Apresentar o desafio proposto; – Apresentar as etapas previstas para o projeto; – Clarificar os papéis e as ações de todos os participantes (equipe de coordenação e estudantes); – Delinear as competências gerais e transversais a serem desenvolvidas no projeto; – Elaborar o cronograma contendo todos os marcos de entrega previstos no projeto; – Descrição das modalidades e dos critérios de avaliação utilizados no projeto (tanto para o relatório quanto para a apresentação da pesquisa); – Referências bibliográficas. – Estrutura de apêndices (Esboço do Modelo Físico; Imagem do Modelo Computacional; Tabela de Conceitos e/ou Mapa Conceitual; Questões Desafiadoras)
Regras do desafio	Orientar os alunos e facilitar a orientação dos alunos em relação ao que é permitido em termos de materiais e de formatos de ponte.
Manual de Diário de Bordo	Orientar o registro dos processos que levam a equipe a cumprir o desafio

Quadro 5: Continued



Figura 5: Equipe de alunos realizando ensaio destrutivo.

pontos de apoio no momento da apresentação pública de seus trabalhos (ver Figura 5).

A carga de colapso encontrada foi comparada com a memória de cálculo do modelo computacional, e, como tal, permitiu aos alunos fazer considerações e comparações quanto à resistência máxima entregue pelos modelos físico e computacional.

3.3.5. Quinta etapa: apresentação pública da pesquisa

Organizou-se um evento para apresentação dos trabalhos⁸. Foram convidados avaliadores externos para apreciar as apresentações utilizando ferramentas construídas para esse propósito (disponíveis no link). Nessa etapa foi destacado aos alunos a importância da pesquisa realizada, no sentido da mesma ser uma oportunidade de desenvolver competências fundamentais para a vida acadêmica e profissional.

⁸ Tal etapa também faz parte dos requisitos estabelecidos pelo campo metodológico ABPj.

Vale ressaltar que por decisão da professora do quadro da FEM que atuou como consultora do LIDF, o evento serviu para a seleção de alunos para representar a faculdade na etapa nacional do concurso de pontes da SAMPE⁹ Brasil, uma versão nacional de uma competição conhecida internacionalmente como “Student Bridge Contest”, que envolve escolas de engenharia de todo o mundo.

4. Método

Em linhas gerais, a pesquisa cujo percurso está ilustrado na Figura 6, encarrega-se com o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de um produto educacional. Trata-se, portanto, de uma pesquisa aplicada [28, p. 8]. Ademais especificamente, utiliza-se a metodologia Design Science Research (DSR), a qual possui foco no projeto de artefatos e na produção de conhecimentos relevantes para a solução de um problema real [9].

4.1. DSR: método de desenvolvimento do artefato

O fluxograma de desenvolvimento ilustrado na Figura 7 apresenta um processo estruturado para conduzir a pesquisa. O processo começa com a identificação e classificação do problema, seguida pela revisão de literatura e definição dos objetivos. Em seguida, passa-se para o planejamento da pesquisa, em que se desenvolve e avalia um artefato específico para resolver o problema identificado. Finalmente, a qualificação dos pesquisadores envolve: a melhoria contínua do artefato; a aplicação prática dos resultados; a revisão crítica da pesquisa e a comunicação dos resultados.

⁹ Segundo informações dispostas no site institucional, a SAMPE é a maior associação técnica do planeta focada na disseminação do conhecimento de materiais e processos de engenharia avançados [34].

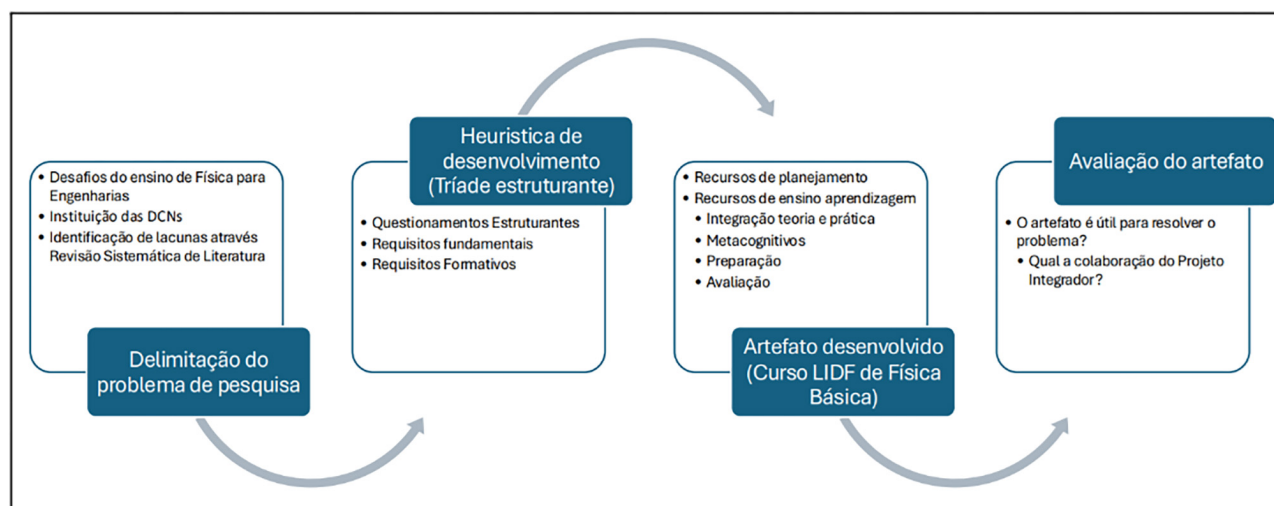


Figura 6: Ilustração do fluxo de desenvolvimento da pesquisa.

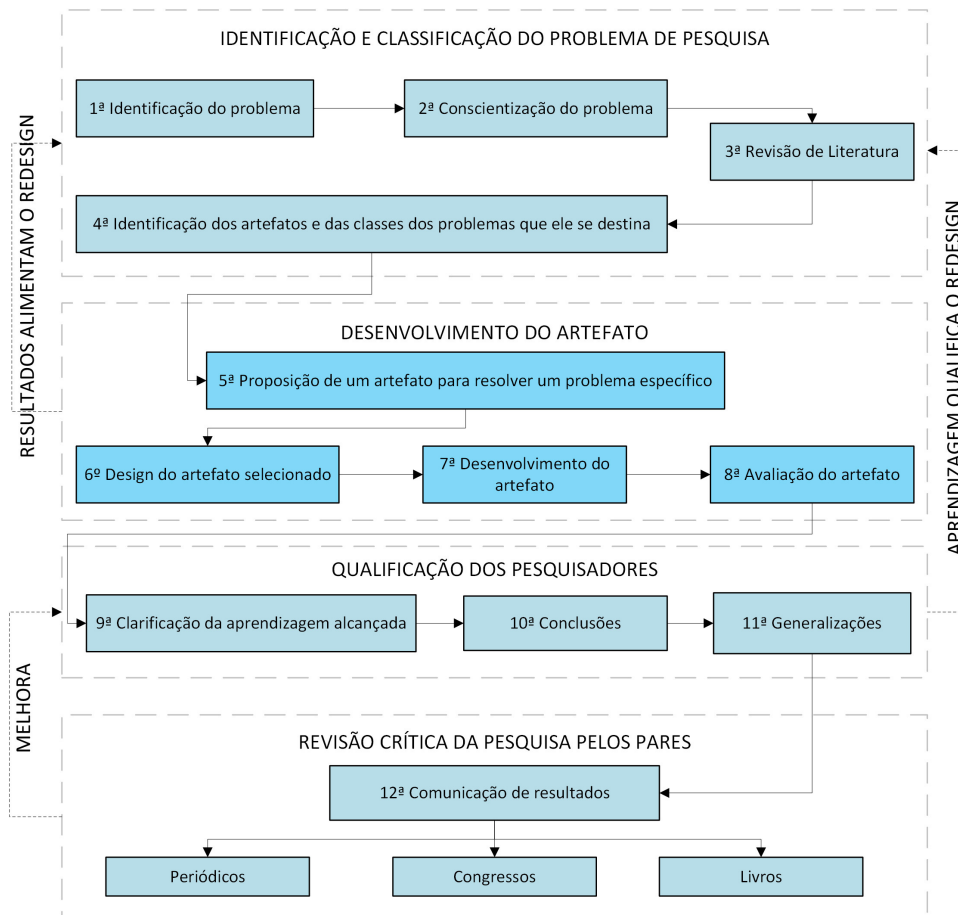


Figura 7: Fluxo de desenvolvimento do artefato – adaptado de [9, p. 125].

Pesquisas baseadas em design devem passar por mais de um ciclo de aplicação, nos quais os recursos que compõem o artefato podem ser avaliados e ajustados em outros contextos, com outros atores e recursos, a fim de construir uma generalização dos resultados [9, p. 133]. O artefato em questão foi aplicado e avaliado em diferentes situações. Foi aplicado para diferentes níveis de ensino: Ensino Médio Integrado ao Profissionalizante e Ensino de engenharia; em distintos cursos de engenharia: Civil, Elétrica e Mecânica; e em espaços educacionais diversos: Sala de Aula Convencional, Laboratório Didático da Faculdade de Engenharia Civil LABDID, Laboratório Multidisciplinar do Instituto Federal de Bragança-PA, Laboratório de Inovação Didática em Física – LIDF; e em conteúdos curriculares diferentes: Física I (Mecânica), Física II (Física Térmica, Fluidos e Ondulatória) e Física III (Eletricidade e Magnetismo). O artefato rodou em diversos contextos e configurações em um total de 12 turmas com número médio de 30 alunos em cada.

A investigação desta pesquisa foi desenvolvida na disciplina de Física Fundamental I, no segundo semestre letivo do ano de 2023, junto aos alunos da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), turno matutino, da UFPA. Para essa aplicação, como previsto na heurística

de desenvolvimento, a estrutura didática sofreu os ajustes necessários (redesign) a fim de alcançar o melhor desempenho para a solução do problema.

4.2. Metodologia de avaliação do artefato

A avaliação do artefato é fundamental para garantir o rigor da pesquisa que utiliza a metodologia DSR. Duas das técnicas apresentadas por Dresch [9, p. 97] são utilizadas neste trabalho:

- a) Avaliação Analítica: Busca avaliar o artefato em sua coerência interna, sem considerar, necessariamente, a situação de aplicação do artefato.
 - i) Investiga a correlação entre os objetivos do artefato e os requisitos previstos nas DCNs em termos das competências estabelecidas no artigo quarto desta normativa federal [5].
 - ii) Avalia a consistência interna da ferramenta construída para auxiliar o delineamento geral do artefato, chamada tríade estruturante, a qual serviu como um princípio de design do mesmo.

O artefato foi concebido com a finalidade de tornar possível o desenvolvimento de competências previstas no

Art. 4º da DCN [5]. A fim de investigar esse intento foi realizada uma análise envolvendo tais competências e o conjunto de requisitos e de tarefas envolvidas no Projeto Integrador. De posse dessa análise foi elaborada uma matriz de correlação justificando a possibilidade ou não de desenvolvimento de cada conjunto de competências expressas na normativa federal. Tal ferramenta está apresentada no Quadro 6, seção 5.

O outro aspecto da avaliação analítica envolveu uma investigação de alinhamento do artefato, posto da seguinte forma: O conjunto de componentes da *tríade estruturante* é plenamente atendido quando considerado tanto a produção quanto à aplicação do artefato? Para isso buscou-se encontrar indícios de alinhamento entre os elementos da tríade em conformidade com o que é recomendado por Dresch [8, p. 78].

- a) Avaliação Experimental: Busca estudar o artefato, em uso, na função ao qual foi projetado e construído, estabelecendo assim a aplicação em um ambiente controlado (ambiente de pesquisa¹⁰), a fim de verificar suas qualidades.

Neste contexto, buscou-se compreender como os principais usuários do artefato (alunos de engenharia) interagiram com o Projeto Integrador, pelo ponto de vista das seguintes dimensões:

- i) Adesão discente às etapas previstas no PI (por critério de entrega);
- ii) Qualidade da participação discente na atividade.

Tais dimensões fazem parte da investigação da exequibilidade da proposta do PI. Consideramos que uma proposta de intervenção didática não é exequível se não for suficientemente atrativa para produzir adesão discente às atividades e se não fornecer o suporte necessário e os critérios avaliativos para permitir uma participação de qualidade por parte dos alunos¹¹.

De posse dos pareceres emitidos pela banca de avaliação do projeto integrador e de um conjunto de indicadores de desempenho desenvolvidos especificamente para essa análise, foi possível explicitar o grau de adesão dos alunos a atividades em cinco graus (excepcional, autônomo, básico, inicial e insuficiente) conforme expostos nos Quadros 7 e 8 na seção 5.2.

A qualidade da participação discente foi avaliada a partir da produção escrita dos alunos nos relatórios de pesquisa produzidos por cada equipe, tendo por critério a conformidade, item a item, do documento Modelo de Relatório de PI, o qual foi oferecido aos estudantes, via AVA, como material de orientação para a elaboração do relatório.

¹⁰ O ambiente de pesquisa em questão é o ambiente de sala em que o produto da pesquisa (produto educacional) foi aplicado.

¹¹ Se por acaso não houvesse adesão ou participação de qualidade por parte do alunado, seria o acaso de se investigar os motivos da falta de êxito nessa dimensão essencial do artefato, para então estudar causas, propor hipóteses, para em seguida aplicar alterações para a atividade em questão em outro ciclo de design.

O modelo de relatório é composto por sete tópicos: Introdução; Identificação da Equipe; Diagrama de Gantt; Diário de Bordo; Procedimento Experimental; Síntese de Aprendizado; Conclusões.

O modelo do relatório consta ainda com sugestão de quatro tipos distintos de apêndice: Esboço do Modelo Físico; Imagem do Modelo Computacional; Tabela de Conceitos e/ou Mapa Conceitual; Questões Desafiadoras.

Os dois primeiros são itens obrigatórios, pois fazem parte das entregas parciais do PI. Os dois últimos são parte integrante apenas do relatório final. São importantes, pois permitem ter uma medida do que foi mobilizado pelos estudantes em termos conceituais. O apêndice apresenta o tópico Questões Desafiadoras que possibilitam complementar a investigação sobre o que os próprios estudantes consideraram como instigante e/ou desafiador no contexto da pesquisa.

Realizou-se a categorização dos argumentos produzidos pelos alunos nos tópicos (Introdução, Síntese de Aprendizado, Tabela de Conceitos e Questões desafiadoras) com intuito de investigar os seguintes aspectos:

- Investigação de significado atribuído por parte dos alunos/equipes em relação ao desafio proposto.
- Síntese de aprendizado em acordo com os próprios alunos.
- Qualidade da modelagem e respectiva comparação entre os modelos.
- Qualidade da produção como um todo.

A análise realizada no modelo de relatório com essas características permite aos pesquisadores ir além da mera análise técnica da produção discente. Permite investigar também a atribuição de significados produzidos pelos alunos ao final do processo de aprendizagem na componente de maior complexidade do artefato.

5. Resultados

5.1. Avaliação analítica

Em conformidade com o que foi apresentado na seção 4.2a do trabalho (item i), a fim de responder sobre a potencialidade do artefato para desenvolver as competências previstas nas DCNs foi produzida uma matriz de correlação (Quadro 6) estruturada da seguinte forma: a coluna da esquerda, com os rótulos numéricos (algarismos romanos), refere-se às “Competências gerais previstas nas DCNs”. A segunda coluna sinaliza se o PI possui ou não potencialidade (Sim/Não) para o desenvolvimento da competência em questão. Por sua vez, a coluna mais à direita apresenta argumento em favor do potencial de desenvolvimento da referida competência na consecução do PI, ou, explica limitações ou impossibilidades de tal desenvolvimento, se for este o caso.

O Quadro 6 constitui uma síntese fundamental dos principais achados deste trabalho, dado que a questão

Quadro 6: Argumentação de adequação do Projeto Integrador às competências listadas na DCN.

Competência	Sim/Não	Argumento
I	Sim	As competências associadas ao item I do Artigo 4o. da DCN dizem respeito à “ <i>formular e conceber soluções desejáveis de engenharia</i> ”. O desafio proposto na atividade PI é caracterizado justamente por conter algo análogo à prática do engenheiro. A escolha de projeto de ponte por parte de cada equipe não era aleatória, pois deveria levar em conta a capacidade de modelagem computacional do projeto. Os registros, incluindo a memória de cálculo do projeto, deveriam ser registrados no relatório de pesquisa, o que justifica a escolha das competências da linha superior.
II	Sim	As competências dos itens II (voltada para a análise de fenômenos físicos) e III (relativa aos componentes estruturais de projetos de engenharia: sistemas; produtos, componentes e processos) dizem respeito ao cerne do PI: analisar, compreender, modelar, conceber, aplicar, prever, verificar e validar modelos físicos e computacionais.
III		Em relação à parte de fenômenos físicos foi analisada a parte de estabilidade mecânica (resultantes de forças com cálculo de nós em treliças e de torques) mediante esforço mecânico e ruptura por via de ensaio destrutivo. Em relação aos requisitos de engenharia, o artefato foi modelado computacionalmente com finalidade de prever resistência dele ao ensaio destrutivo. Os alunos foram inquiridos também a explicar as diferenças entre o modelo físico e o modelo computacional. A atividade PI foi concebida com todas essas intencionalidades formativas que satisfazem, portanto, aos itens II e III descritos no Artigo 4o. da DCN. De uma forma geral, os alunos tiveram pleno êxito no desenvolvimento das competências listadas acima.
IV	Não	Os termos “ <i>implantar, supervisionar e controlar as soluções de Engenharia</i> ” referentes à competência IV da norma dizem respeito às experiências com projetos reais de engenharia e que, portanto, estão além das vivências proporcionadas por um curso de física básica.
V	Sim	A competência V diz respeito ao domínio das formas de comunicação (oral, escrita e gráfica). Sendo a atividade de mais alta complexidade do artefato, as demandas em relação às formas de comunicação do PI acompanham também os mais altos níveis de exigência. O projeto integrador exige a produção de relatório de pesquisa com vários subitens, bem como produção de material audiovisual para servir como base para a apresentação oral que é acompanhada por arguição por parte de banca examinadora, pela qual as equipes recebiam feedback das principais etapas da pesquisa (relatório e apresentação). Várias equipes apresentaram resultados excelentes (parte escrita e oral), sendo que muitos alunos destacaram que nunca tinham experimentado tais cobranças ao longo do seu curso de graduação. O uso de TDICs se deu por meio da mediação das entregas via AVA e de grupo de aplicativo de mensagens.
VI	Sim	As competências relativas ao item VI referem-se ao trabalho em grupo. O trabalho em equipe é parte essencial de uma atividade baseada em projeto (ABPj). Sendo um projeto desafiador, o gerenciamento de tarefas e de pessoas faz parte integrante do desafio proposto. Saber ceder, cobrar e compreender o próximo foi citado como aprendizado por vários integrantes de equipes, e alguns, inclusive, relataram como sendo a parte mais difícil e desafiadora do projeto. Deve-se destacar que os estudantes foram expostos ao desenvolvimento de um projeto análogo a um projeto de engenharia, entretanto, didático. Portanto, o desenvolvimento de tais competências se deu em nível básico, adaptado ao estágio atual dos estudantes no curso de graduação.
VII	Não	O texto dessa competência explicita que a prática da ética, da legislação e dos atos normativos refere-se ao exercício da profissão de engenheiro, o que a torna pouco acessível ao escopo de uma disciplina do ciclo básico.
VIII	Sim	Aprender de forma autônoma; ser capaz de assumir atitude investigativa; lidar com situações e contextos complexos (adaptados ao estágio atual de desenvolvimento dos alunos) e proporcionar aos alunos oportunidades de aprender a aprender estão inteiramente dentro do escopo formativo almejado para o projeto integrador. Pelo conjunto da produção discente (nível dos relatórios e das apresentações) foi possível extrair vários indícios de desenvolvimento dessas competências (em nível básico).

central da pesquisa articula-se em torno da adequação do artefato desenvolvido em promover as competências descritas nas DCNs. Esse quadro é uma peça-chave ao reunir argumentos que evidenciam a capacidade do artefato de fomentar o desenvolvimento de competências em seis dos oito conjuntos estabelecidos no seu artigo 4º.

De forma mais específica, o artefato, por meio de sua atividade de maior complexidade, o Projeto Integrador, demonstra um impacto significativo ao potencializar

o desenvolvimento de 19 das 24 componentes de competências listadas no documento oficial. Tais resultados asseguram, portanto, atualização do processo pedagógico da estrutura didática ao estar alinhado às exigências das DCNs.

Quanto à defesa sobre o alinhamento interno da tríade estruturante, conforme apresentado na seção 4.2a do trabalho (item ii), pode-se constatar que o alinhamento entre Objetivos Formativos (OF), Requisitos Fundamentais (RF) e Questionamentos Estruturantes

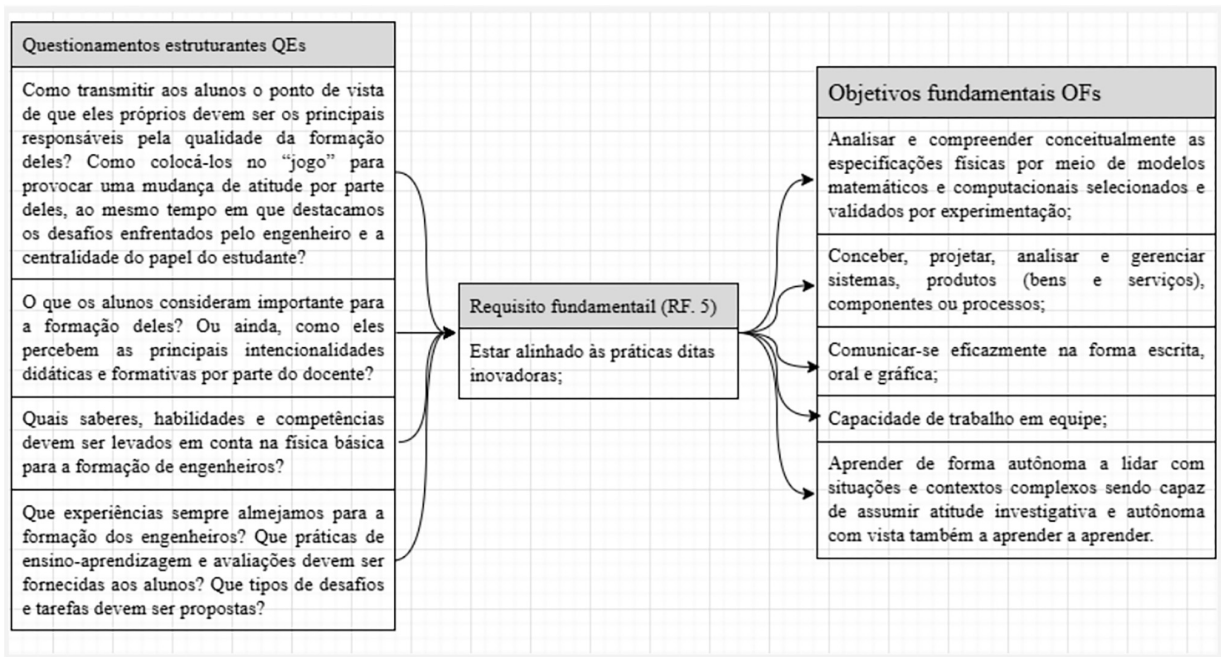


Figura 8: Relação entre RF.5 e outros elementos da tríade estruturante.

(QE) é existente e substancial. Para ilustrar essa justaposição será lançado mão de alguns exemplos.

O primeiro exemplo pode ser descrito através da coerência existente entre o Questionamento Estruturante QE.1 (ver Quadro 2, seção 2), que indaga como transmitir aos alunos que eles próprios devem ser os principais responsáveis pela qualidade de sua formação, e o Objetivo Formativo OF.5 (ver Quadro 4, seção 2), que propõe que a atividade oferecida aos alunos os leve a aprender de forma autônoma e a desenvolver a habilidade de lidar com situações complexas.

O vínculo entre as partes (QE.1 e OF.5) é então promovido pelo Requisito Fundamental RF.3 (ver Quadro 3, seção 2) que inclui a promoção de atividade que emule a prática usual do engenheiro.

Outro exemplo é observado quando analisado o Questionamento Estruturante QE.3 que indaga sobre quais saberes, habilidades e competências devem ser levados em conta na formação de engenheiros, especialmente na disciplina de física básica. Tal indagação mostra-se perfeitamente alinhada a todos (OFs) e se cumpre de forma coerente ao requisito (RF 4), o qual impõe a necessidade de atender a um conjunto de habilidades e competências previamente estabelecidas, que, neste caso, são as previstas nas DCNs.

Conforme já pontuado, ainda que, o conjunto completo das competências do artigo quarto da DCN seja algo almejável, o artefato, em termos de metas educacionais, tomou como ponto de partida o conjunto de Objetivos Formativos OF (Quadro 4), o qual é um subconjunto importante da totalidade de competências da normativa federal. A integralidade dos conjuntos de competências potencializados pelo artefato (itens I, II, III, V, VI, VIII

do Quadro 6) é coincidente com o conjunto de Objetivos Formativos, disposto no Quadro 4, sendo portanto um elemento cabal para atestar a consistência interna da chamada tríade estruturante.

Quando analisa-se particularmente o Requisito Fundamental (RF. 5) (Estar alinhado às práticas ditas inovadoras), a coerência da heurística fica evidenciada tanto pelo seu atendimento às Questões Estruturantes quanto aos Objetivos Formativos (ver Figura 8).

Relembramos que, em conformidade com o que foi estabelecido na introdução do trabalho, o artefato foi planejado não apenas para ser inovador por si só, mas também para ser um elo de ligação, sendo portanto consonante, com outra atualização educacional de maior monta: as próprias DCNs.

O vínculo formativo com as DCNs, em acordo com a pergunta de pesquisa, foi estabelecido pelo Quadro 6. Por sua vez, as atividades de ensino-aprendizagem do artefato, incluindo as do PI, foram desenvolvidas seguindo rigorosamente o estabelecido pela tríade estruturante, incluindo, portanto, o requisito fundamental RF.5. Claramente, o artefato incorpora metodologias inovadoras e pouco usuais nas tradicionais aulas de física nas escolas de engenharia. Portanto, cumpre as duas dimensões de atualização requeridas ao mesmo, conforme destacado desde a introdução do artigo.

5.2. Avaliação experimental com foco no Projeto Integrador

5.2.1. Grau de adesão às etapas do PI

Em acordo com o apresentado na seção 5.2b do trabalho (item i) investigou-se o grau de adesão dos alunos às

Quadro 7: Indicadores de desempenho utilizados na análise das entregas do PI.

Grau do indicador	Grau 5	Grau 4	Grau 3	Grau 2	Grau 1
Grau do descritor	Grau excepcional	Grau autônomo	Grau básico	Grau Inicial	insuficiente
Indicador observado	Apresenta criatividade e inovação.	Apresenta entregas qualificadas sem auxílio da equipe LIDF.	Atende em nível básico as demandas necessitando do auxílio da equipe LIDF.	Só consegue atender as demandas com o auxílio da equipe LIDF.	Não entregou mesmo tendo a disposição auxílio da equipe LIDF.

Quadro 8: Extrato do desempenho das equipes quando analisadas as entregas do PI.

	Modelo Físico	Modelo Comp.	Relatório	Apresentação	Nº de alunos
Equipe A	4	3	3	4	4
Equipe B	3	3	3	4	4
Equipe D	4	4	4	4	4
Equipe G	4	4	4	4	4
Equipe H	4	4	3	3	4
Equipe J	3	3	3	3	4
Grupo I	4	4	4	4	4

atividades propostas no Projeto Integrador. O PI foi composto por várias etapas e entregas parciais por parte dos alunos. São essas: entrega do modelo físico (duas pontes); entrega do modelo computacional; entrega do relatório; apresentação da pesquisa/arguição.

Com a finalidade de refinar a análise da pesquisa, foram construídos indicadores de desempenho conforme expresso no Quadro 7. Tratam das entregas previstas para o PI em cinco graus de qualidade: excepcional; autônomo; básico; inicial; insuficiente, em conformidade com os descritores caracterizados abaixo.

O extrato do desempenho das equipes quando analisadas as entregas do PI (ver Quadro 8) demonstra que, em geral, todas as equipes tiveram êxito no desafio proposto, uma vez que nenhuma equipe deixou de apresentar os componentes obrigatórios, nem mesmo teve desempenho insatisfatório, ou próximo disso, em qualquer das entregas do projeto.

5.2.2. Qualidade da participação dos alunos na realização do PI

Em complemento às investigações anteriores buscou-se aferir a qualidade da participação dos discentes em quatro dimensões detalhadas na seção 4.2b do trabalho (item ii).

Na primeira dimensão, investigou-se os significados atribuídos pelos alunos/equipes em relação ao desafio proposto no PI, a fim de compreender como os alunos percebem e interpretam os objetivos e as demandas do desafio, bem como a relevância e a aplicabilidade dos conceitos abordados. Alguns desses significados estão expostos e exemplificados com excertos a seguir. Os alunos demonstraram encarar o desafio proposto no Projeto

Integrador como uma oportunidade valiosa para aplicar os conceitos teóricos de engenharia em um contexto prático. Vejamos como exemplos, os seguintes trechos:

“as competições de construção de pontes permitem certa iniciação no complexo mundo da engenharia” (Relatório Equipe D)

“... permitindo que os participantes apliquem conceitos básicos de engenharia estrutural na prática” (Relatório Equipe B)

Os discentes também atribuem valor à prática de projetar pela possibilidade de vislumbrar uma iniciação pragmática ao mundo da engenharia pela aplicação de conceitos teóricos. Além disso, reconhecem que a criação de modelos fornece uma experiência prática enriquecedora, rica em desafios e com potencial de prepará-los para situações reais de projeto e construção. Isso é evidenciado pelos trechos:

“os estudantes desenvolvem habilidades importantes, como trabalho em equipe, resolução de problemas e aplicação efetiva do conhecimento adquirido em sala de aula” (Relatório Equipe B)

“a competição fornece ao aluno condições de trabalho que requerem adaptações minuciosas focadas na geometria e estática do projeto, a partir da fixação de normas para o projeto via regulamentação” (Relatório Equipe D)

A segunda dimensão investigou os ganhos de aprendizado segundo os próprios alunos. Tais ganhos vão muito além dos conteúdos técnicos dos cursos de física e compreendem aprendizados considerados essenciais para a formação de futuros engenheiros. É importante destacar que todos os grupos reconheceram as competições de ponte como uma oportunidade prática inicial no campo da engenharia, que permite aos estudantes aplicar conceitos teóricos em um contexto diretamente relacionado à construção de pontes. Tal reconhecimento está evidenciado em diferentes trechos dos relatórios, tais como exemplificado no extrato a seguir:

“as competições representam uma valiosa ferramenta didática nas engenharias, proporcionando aos estudantes universitários uma experiência prática enriquecedora” (Relatório Equipe B).

Os alunos também reconheceram que os projetos contribuem para sua familiarização com aspectos da análise estrutural, estática e mecânica dos sólidos, conforme destacado no relatório da Equipe G: “os projetos permitem que os discentes compreendam na prática conceitos como tração, compressão, distribuição de forças e resistência dos materiais”.

O desenvolvimento de projetos práticos, como a construção de pontes de palitos de picolé também incentiva a interação social e a comunicação entre os membros das equipes, conforme indicado no trecho:

“... é importante salientar que o Projeto Integrador, não só aprofunda os conhecimentos em física, mas como tem destaque a convivência social, pois é essencial a interação entre os integrantes das equipes” (Relatório Equipe A)

A terceira dimensão de investigação teve foco em identificar os ganhos mais significativos relacionados ao fato de os alunos terem tido a oportunidade de desenvolver modelos. Neste quesito todos os relatórios destacam que a modelagem computacional, aliada à construção física de modelos, trouxe diversos ganhos, como exemplificado no trecho extraído do relatório de grupo G em que os alunos demonstram atuação reflexiva:

“... na maioria dos casos, há uma diferença entre o que é simulado e o que ocorre de maneira experimental...”

Esse modo de atuação também desperta no estudante o ímpeto pelo auto aprendizado, conforme implicitamente pontuado pelo trecho a seguir:

“... proporcionou aos membros um conhecimento maior dos softwares online, especialmente o Ftool, e como ainda há muito a ser explorado.”

A última dimensão da pesquisa analisa a qualidade em si da produção dos alunos, que reflete o grau de envolvimento com a atividade e o aproveitamento das intenções do artefato. De uma forma geral, os relatórios atingiram nível técnico muito satisfatório, tanto pela fidedignidade às orientações do documento base, quanto pelo atendimento às normativas de elaboração de trabalhos acadêmicos. O resultado é ainda mais vistoso se levarmos em conta que o produto educacional foi aplicado junto a uma turma de calouros.

Para a análise documental foi dada prioridade à seção “Questões Desafiadoras” (apêndice D do modelo de relatório), na qual, no conjunto dos relatórios produzidos, foram criadas um total de 56 perguntas, divididas em sete categorias. Essas categorias ajudaram os pesquisadores a inferir o que foi mobilizado pelos alunos durante a execução do PI.

Algumas dessas categorias são listadas e apresentadas abaixo, bem como os excertos que as evidenciam:

- Preocupações com organização e Gestão do Projeto e do trabalho em equipe. Trecho extraído do Relatório do grupo G: “*Como podemos distribuir de forma mais ideal os trabalhos levando em consideração as aptidões de cada membro?*”.
- Preocupações com planejamento e logística de trabalho. Tal categoria está presente em vários relatórios. Questão proposta pelo grupo B, a qual aborda o primeiro contato com softwares de engenharia já nos semestres iniciais “*Qual a melhor abordagem para a modelagem computacional da ponte, considerando a falta de familiaridade da equipe com softwares como Ftool e Revit?*”.
- Preocupações relacionadas a projeto, engenharia, cálculo e física. Tal linha fica evidenciada em trechos que sugerem o valor atribuído pelos alunos aos conhecimentos técnicos, essenciais para uma atuação competente, conforme Zabala e Arnau [35, p. 45]. Um desses trechos foi retirado do relatório do grupo A, como pode ser visto a seguir: “Quais conceitos da física precisamos investigar para aplicar na ponte?” e outro no relatório do grupo D: “Qual método de cálculo permite maior segurança e facilidade de Modelagem para previsão de carga máxima?”

6. Conclusões

Neste trabalho foi apresentada a concepção, o desenvolvimento e avaliação de um artefato (estrutura didática), o *Curso LIDF de Física Básica para Engenharias*, e de sua heurística, a tríade estruturante. Ambos desenvolvidos com base na metodologia Design Science Research (DSR). O objetivo desse processo foi criar uma proposta alinhada aos critérios estabelecidos por Tavares [6], às demandas formativas das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e ao paradigma de formação por competências.

Para validar a adequação do artefato em relação à sua finalidade, a avaliação teve como foco o PI a partir do procedimento sugerido por Dresch [9], que contempla avaliações analítica e experimental. A avaliação analítica verificou a consistência interna do artefato, bem como o alinhamento deste aos requisitos de atualização metodológica e ao desenvolvimento de competências previstas nas DCNs.

Já a avaliação experimental examinou seu desempenho durante um ciclo de aplicação real no curso, por meio da análise da produção discente referente ao recurso de mais alta complexidade na estrutura didática, o projeto integrador PI. A atividade comporta diversas etapas, entregas e envolve entrega de relatório, apresentação oral em formato de seminário e arguição.

Constatou-se que o projeto integrador, em questão, tem elevada potencialidade para o desenvolvimento das competências previstas nas DCNs. A análise argumentativa apresentada no Quadro 6 indica potencialidade de

desenvolvimento em 19 das 24 componentes apresentadas no documento, especialmente aquelas relacionadas à formulação e concepção de soluções análogas às de engenharia, análise de fenômenos físicos, modelagem computacional e trabalho em equipe.

O artefato apresenta também uma heurística de planejamento representada esquematicamente na Figura 1, a tríade estruturante, a qual faz o papel de um princípio de design. Os Quadros 2, 3 e 4 explicitam os componentes dessa tríade. A análise de consistência interna comprovou que o alinhamento entre esses componentes é robusto. Todos os objetivos formativos propostos à estrutura didática foram atendidos. Ainda nessa linha, o esquema representado na Figura 8 explica a coerência da heurística pelo atendimento de um requisito fundamental em particular, o RF. 5, à totalidade dos questionamentos estruturantes e dos objetivos formativos da tríade.

Além disso, todos os componentes e elementos da tríade foram levados em conta na construção das atividades, entregas e etapas do projeto integrador, o que comprova o papel estruturante que se espera de um princípio de design em um artefato.

A partir da análise documental com base nos relatórios de pesquisa sobre o PI foi possível observar diversos indícios de desenvolvimento de competências. As extrações das questões desafiadoras expressas pelos alunos nos relatórios do PI evidenciam a existência de um justo alinhamento entre as intenções do designer do artefato e a percepção por parte dos alunos.

Considerando que a adesão dos alunos às atividades é um fator essencial para o sucesso no desenvolvimento de competências, foi elaborado um indicador de desempenho que permitiu quantificar a produção dos estudantes nas suas entregas em relação à qualidade e à autonomia. O indicador possui cinco níveis, conforme ilustrado no Quadro 7. O desempenho médio dos estudantes, conforme apresentado no Quadro 8, foi de 3,71 (74,29%) na entrega do modelo físico, 3,57 (71,43%) no modelo computacional, 3,43 (65,57%) no relatório e 3,71 (74,29%) na apresentação.

Os resultados indicam que a participação média alcançou um nível próximo ao grau autônomo de participação (grau 4), evidenciando que a maioria dos participantes conseguiu realizar as entregas de forma qualificada e independente, sem necessitar do suporte da equipe LIDF. Esse dado também indica um elevado grau de exequibilidade da proposta, pois demonstra que o desafio, mesmo sendo considerado complexo pelos alunos, não se mostrou um obstáculo intransponível, uma vez que todas as equipes cumpriram as etapas previstas para a atividade.

Os resultados do estudo destacam que os alunos reconhecem os ganhos de aprendizado proporcionados pelas competições de pontes, como indo além dos conteúdos técnicos. Segundo os próprios estudantes, a experiência prática adquirida nesses projetos permite a aplicação

de conceitos teóricos em um contexto real, favorecendo a compreensão de princípios estruturais da engenharia que fazem uso de conceitos como tração, compressão e resistência dos materiais. Além disso, o projeto incentiva a interação social e a comunicação entre os membros das equipes.

Outro ponto relevante da pesquisa é a valorização da modelagem computacional aliada à construção física de modelos, o que impulsiona a reflexão crítica e o auto aprendizado. Os alunos relataram também a importância dessa abordagem para aprofundar seus conhecimentos em softwares de engenharia.

Por sua vez, a qualidade da produção acadêmica reflete o grau de engajamento dos estudantes, evidenciado pela formulação de perguntas desafiadoras relacionadas à organização, ao planejamento e aos conhecimentos técnicos envolvidos no projeto. O engajamento de alto nível cognitivo demonstrado pela grande maioria dos participantes, somado aos relatos anteriores, demonstram que a atividade não apenas fortalece as competências técnicas, mas também desenvolve habilidades e competências essenciais para a prática profissional na engenharia.

Em relação aos predicados de atualização didática presentes na pergunta de pesquisa e na introdução do artigo, pode-se concluir que o artefato alcançou o objetivo de ser uma ferramenta de promoção deste propósito para os cursos de física básica, posto que suas atividades vão muito além da abordagem usual para as disciplinas correspondentes. A estrutura didática integra recursos e práticas diversificadas e inovadoras de ensino-aprendizagem, conforme listado e exemplificado no Quadro 1. Em relação ao desenvolvimento de competências, os resultados apresentados demonstram estar firmemente alinhados ao que é preconizado pela principal normativa federal para o ensino de graduação das engenharias. Assim sendo, é factível externar a conclusão de que o produto educacional produzido por esta pesquisa se revela particularmente útil para a atualização do ensino de física no contexto das engenharias.

7. Considerações Finais

A necessidade de mudanças metodológicas e de concepção de educação no ensino de engenharia, especialmente em disciplinas como a Física – que historicamente enfrentam certa resistência à inovação – é premente. As Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), embora sejam um guia essencial, exercem apenas papel norteador para a reformulação dos Projetos Pedagógicos de Curso (PPCs). A simples imposição documental, presente nos PPCs ao fazer referência à normativa, não garante, por si só, uma atualização real dentro da sala de aula.

A formação de excelência almejada para os futuros engenheiros não será alcançada apenas com as práticas que hoje são usuais nas escolas de engenharia. É necessário um esforço contínuo para superar a inércia

metodológica e garantir que as mudanças propostas realmente impactem a aprendizagem dos alunos. Para atingir os objetivos esperados pela legislação federal é fundamental que as pesquisas aplicadas à educação sigam protocolos rigorosos, de forma que os princípios metodológicos, as etapas e os resultados da pesquisa possam ser efetivamente compreendidos, compartilhados e incorporados às salas de aula e aos projetos pedagógicos dos cursos de graduação de engenharia. Pesquisas como a que foi apresentada neste trabalho possuem potencial para ser parte importante em um caminho para o fortalecimento de questões de ensino nas escolas de engenharia, a fim de auxiliar a formação de engenheiros mais competentes para enfrentar as demandas cada vez mais complexas da nossa sociedade.

Disponibilidade de dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Referências

- [1] I. Araujo, T. Espinosa, K. Miller e E. Mazur, *Rev. Bras. Ensino Física* **43**, e20210222 (2021).
- [2] I.S. Araujo e E. Mazur, *Cad. Bras. Ens. Fís.* **30**, 362 (2013).
- [3] C.M.B. Matta, S.M.G. Lebrão e M.G.V. Heleno, *Psicol. Esc. E Educ.* **21**, 583 (2017).
- [4] M.A. Moreira, *Rev. Bras. Ensino Física*, **43 Suppl. 1**, e20200451 (2021).
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANTENEDORAS DE ENSINO SUPERIOR, *Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019*, disponível em: <https://abmes.org.br/arquivo/s/legislacoes/Resolucao-CNE-CES-002-2019-04-24.pdf>, acessado em: 14/05/2025.
- [6] F.G.O. Tavares, *Educação* **44**, 119 (2019).
- [7] J.B.C. Costa, A.G. Rodrigues, R.M. Neves e G.M. Lynch, *Cad. Pedagógico* **21**, e5822 (2024).
- [8] LABORATÓRIO DE INOVAÇÃO DIDÁTICA EM FÍSICA – RICHARD FEYNMAN, *Espelho do diretório de Grupos de Pesquisa CNPQ*, disponível em: <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/318567>, acessado em: 02/02/2023.
- [9] A. Dresch, *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia* (Bookman, Porto Alegre, 2021).
- [10] N.M.S. Galvão, J.S. Madureira e H.N. Schneider, *Bol. Conjuntura* **18**, 194 (2024).
- [11] CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO CÂMARA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR, *Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002*, disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15766-rces011-02&category_slug=junho-2014-pdf&Itemid=30192, acessado em: 30/05/2025.
- [12] UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, *Projeto Pedagógico de Curso do Graduação em Engenharia Mecânica. agosto de 2020*, disponível em: https://drive.google.com/file/d/1zTEiVmo_UTnJ9EVdun9c7FrBbUFiHSqk/view.
- [13] A.M. Tonini, *Educação em engenharia: as competências na formação do engenheiro* (Editora Alta Performance, Goiânia, 2023).
- [14] AMERICAN MODELING TEACHERS ASSOCIATIONS, *Transforming STEM Education*, disponível em: <https://www.modelinginstruction.org/>, acesso 15/02/2023.
- [15] TRANSFORMATIVE LEARNING TECHNOLOGIES LAB, *Bifocal Modeling*, disponível em: <https://tltlab.org/bifocal-modeling/>, acessado em: 13/05/2023.
- [16] O.S. Nakao, em: *XXXI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia* (Rio de Janeiro, 2003). Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/16/artigos/NMT225.pdf>, acessado em: 13/05/2025.
- [17] L.A.C.M. Veloso, J.F.S. Melo, A.C.B. Cruz e H. Elarrat, em: *Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia* (Fortaleza, 2010). Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/9/artigos/782.doc>, acessado em 13/05/2025.
- [18] R.C. Barros, *Sequência Didática com Projeto Integrador: desenvolvendo Competências e Habilidades no Ensino Técnico-Profissionalizante*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, (2020). Disponível em <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/polo-37-dissertacao-rosevaldo.pdf>, acessado em 13/05/2025.
- [19] A.E. Bulhões, *Atividades experimentais – enfoque de atividades investigativas com materiais de baixo custo*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém (2018).
- [20] J.B. COSTA, *Planejamento, construção, validação e avaliação de uma sequência didática com foco no desenvolvimento de competências no ensino médio integrado*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém (2018).
- [21] H.A. Simon, *The Sciences of the Artificial* (M.I.T. Press, Cambridge, 1969).
- [22] I.M. Rizzatti, A.P. Mendonça, F. Mattos, G. Rôças, M.A.B.V. Silva, R.J.S. Cavalcanti e R.R. Oliveira, *ACTIO Docência Em Ciênc.* **5**, 1 (2020).
- [23] A.G. Rodrigues, *Aprendizagem Crítica de Rodrigues*, disponível em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.15547841>, acessado em: 29/05/2025.
- [24] P. Blikstein, em: *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction* (Santa Monica, 2012). Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2388676.2388729>, acessado em: 13/05/2025.
- [25] D. Hestenes, *Am. J. Phys.* **55**, 440 (1987).
- [26] W.N. Bender, *Aprendizagem baseada em projetos: Educação diferenciada para o século XXI* (Grupo A, Porto Alegre, 2014).
- [27] BUCK INSTITUTE FOR EDUCATION, *Aprendizagem Baseada em Projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio* (Artmed, Porto Alegre, 2008).
- [28] M.A.C. Pereira, M.B. Silva, M. Pazeti e S.R.C. Claro, em: *XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (Joinville, 2017). Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_SD_249_441_34921.pdf, acessado em 13/05/2025.
- [29] J. Dewey, *Experience and nature* (Dover Publications, New York, 1958).

- [30] J.B.C. Costa, A.G. Rodrigues, S.C.C. Nascimento, J.H.R. Rosario, L.R.M. Sousa e M.C.L. Faro, *Braz. J. Dev.* **6**, 404 (2020).
- [31] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares* (LF Editorial, São Paulo, 2023).
- [32] A. Sharunova, Y. Wang, M. Kowalski e A.J. Qureshi, *Int. J. Technol. Des. Educ.* **32**, 987 (2022).
- [33] E.R. Martins e L.M.B. Gouveia, em *Engenharia de Produção: tecnologia e inovação em pesquisa* (Editora Científica Digital, Goiânia, 2022).
- [34] SAMPE BRASIL. Disponível em: <https://www.sampebrasil.org/>, acessado em: 30/12/2024.
- [35] A. Zabala, *A Prática Educativa: Como Ensinar* (Penso, Porto Alegre, 2015).