

DOI: 10.46943/XI.CONEDU.2025.GT01.036

SUSTENTABILIDADE E FABRICAÇÃO DIGITAL: SOLUÇÕES INOVADORAS PARA A EDUCAÇÃO BÁSICA NO RECIFE

Vitor Domício de Meneses¹

Jean-Baptiste Marc Scharffhausen²

José Edeson De Melo Siqueira³

Sadi da Silva Seabra Filho⁴

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo descrever e analisar as atividades de um projeto de extensão organizado pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) que permitiu a formação de 70 professores da rede pública de ensino da cidade do Recife nas áreas de fabricação digital, sustentabilidade e inclusão, cuja proposta era a criação de artefatos FiGitAis (Físicos, Digitais e Sociais) a serem utilizados com crianças das escolas municipais na perspectiva das metodologias ativas. O projeto buscou fomentar a inovação pedagógica e a criação de estratégias de aprendizagem ativa (Camargo e Daros, 2018) baseada na experiência (Dewey, 1989), na aprendizagem reflexiva (Schon, 2000) e na utilização de tecnologias de fabricação digital aplicadas ao ensino (Paio, 2021). As atividades alinham-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sus-

1 Doutorando em Desenvolvimento Urbano da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, vitor.meneses@ufpe.br;

2 Doutorando em Design da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, jean-baptiste.scharffhausen@ufpe.br;

3 Doutor em Educação Matemática e Tecnológica pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, edeson.siqueira@ufpe.br;

4 Doutor em Design da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, sadi.seabrafo@ufpe.br;

tentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, em especial os ODS 4 (Educação de Qualidade), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis). A formação, realizada em fevereiro de 2025, foi composta por conferências remotas e oficinas presenciais (60 horas ao todo) abordando conteúdos teóricos e práticos sobre sustentabilidade e fabricação digital. As práticas contemplaram a criação de artefatos didáticos com uso do plástico reciclado utilizando modelagem 3D e a materialização dos produtos a partir de impressoras 3D e cortadora a laser. A ação foi coordenada e desenvolvida por uma equipe multidisciplinar, composta por professores e alunos de graduação e pós-graduação da Universidade em parceria com a Prefeitura do Recife. Foi possível perceber um engajamento por parte das equipes na criação colaborativa de artefatos que abordavam temáticas da sustentabilidade e no planejamento de práticas para serem implementadas nas suas respectivas salas de aula. O projeto vai servir como referência para futuras iniciativas, estimulando a educação para a sustentabilidade com metodologias ativas e potencializando uma aprendizagem mais interativa e acessível.

Palavras-chave: Fabricação Digital, Sustentabilidade, Metodologias Ativas, Inovação pedagógica, Formação de professores.

INTRODUÇÃO

O projeto de extensão “Sustentabilidade e Fabricação Digital – Produção de Artefatos FíGItAis e Metodologias Ativas para a Sala de Aula” constituiu uma iniciativa de qualificação docente, desenvolvida em parceria entre a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Secretaria de Educação da cidade do Recife. O projeto visou qualificar setenta professores da rede pública de ensino e ocorreu entre 5 e 12 de fevereiro de 2025, totalizando 60 horas.

O cenário contemporâneo impõe um duplo desafio aos sistemas educacionais: a necessidade de questionar o modelo pedagógico expositivo tradicional na sociedade digital, e a urgência em endereçar a crise de sustentabilidade gerada pelo paradigma econômico linear. Em resposta, emergem novos referenciais teóricos que fundamentam esta pesquisa, notadamente a transição para uma Economia Circular e a adoção de Metodologias Ativas. Estas abordagens, alinhadas à aprendizagem baseada na experiência de John DEWEY e à epistemologia da prática reflexiva de Donald SCHÖN, propõem reposicionar o estudante como protagonista. A intersecção destas pedagogias com o potencial da Cultura Maker e da fabricação digital, como teorizado por Alexandra PAIO, oferece um campo fértil para a inovação. Contudo, a aplicação prática e integrada destes conceitos na formação de professores da rede pública ainda representa um território dos possíveis. O presente trabalho aborda esta problemática ao descrever e analisar um projeto de extensão qualificando docentes da rede municipal do Recife nas áreas de sustentabilidade, inclusão e fabricação digital, visando a cocriação de artefatos FíGItAis (Físicos, Digitais e Sociais). O trabalho demonstra, ainda, um alinhamento programático com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 4, 9, 11 e 12 da Agenda 2030 da ONU.

Metodologicamente, a formação foi estruturada em formato híbrido, articulando conferências remotas com oficinas presenciais no laboratório do Grupo de Experimentação em Artefatos 3D (Grea3D) da Universidade Federal de Pernambuco. Adotando a abordagem “Aprender fazendo Mão

na Massa”, os docentes vivenciaram o ciclo completo da Economia Circular: da fundamentação teórica à prática da reciclagem de plásticos (via iniciativa do Precious Plastic⁵ UFPE) e sua transformação em artefatos didáticos por meio de modelagem 3D, impressão 3D e corte a laser. A análise dos resultados confirma a eficácia do modelo, demonstrando que o laboratório funcionou como um “Practicum Reflexivo” (SCHÖN, 1987, p.157), permitindo aos professores cultivar a “Arte da Prática” ao exercitarem a “Reflexão-na-Ação” diante das “surpresas” do processo. A principal contribuição teórica da pesquisa, contudo, reside na determinação do conceito do FíGiTAI. Os achados empíricos revelaram o valor da abordagem da terceira dimensão, a “Social” – manifestada pela finalidade dos artefatos produzidos, na colaboração entre equipes e na parceria institucional –, consolidando o termo “artefato FíGiTAI” como um pilar da práxis pedagógica na sociedade da era do Digital.

Como síntese conclusiva, este trabalho oferece um modelo empírico validado de qualificação docente, introduzindo o artefato FíGiTAI como uma nova categoria analítica para investigações em Educação Maker. A discussão aponta, todavia, para pesquisas futuras necessárias, focadas nos desafios da escalabilidade, no aspecto “mis-educativo” do instrumentalismo tecnológico e no possível aprofundamento com o ODS 10 (Redução das Desigualdades). Projeta-se, assim, uma agenda futura mais centrada na autossuficiência local e na democratização efetiva da infraestrutura tecnológica como vetores de uma inovação social sustentável e inclusiva.

METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada em três fases - Planejamento, Execução e Avaliação - e buscou fomentar a inovação pedagógica através da

5 Precious Plastic é uma rede mundial de colaboração que desenvolve e distribui projetos de máquinas de baixo custo para reciclagem de plástico em pequena escala, permitindo que pessoas, comunidades e pequenas empresas transformem o plástico descartado em novos produtos.

aprendizagem ativa, baseada na experiência e reflexão, utilizando tecnologias de fabricação digital aplicadas ao ensino.

A Fase de Planejamento (Pré-execução) foi realizada previamente, incluindo a articulação com a Secretaria de Educação para a mobilização dos participantes e a definição de conteúdos teóricos e práticos ajustados às necessidades do contexto de ensino local. Esta etapa envolveu também a seleção e organização de materiais e equipamentos (como impressoras 3D, cortadoras a laser, resíduos plásticos recicláveis) e a criação de guias didáticos sobre fabricação digital e sustentabilidade.

A Fase de Execução (60 horas) adotou um formato metodológico híbrido, combinando aulas online com oficinas presenciais no Laboratório Grea3D na UFPE. Dividida em três Módulos teóricos e práticos, a carga horária desta Fase foi dividida em 4h assíncronas, 24h de aulas práticas e 32h de planejamento e preparação de materiais didáticos pelos docentes.

- O Módulo 1 (4h - online), estabeleceu os conceitos fundamentais sobre sustentabilidade, economia circular e fabricação digital. Este módulo foi complementado por três conferências presenciais na abertura, que abordaram a integração entre Ensino, Pesquisa e Extensão no campo da Educação Digital e Sustentabilidade, a Economia Circular nos Espaços Maker e as Boas Práticas e Estudos de Caso aplicados no ensino (Graduação universitária em Engenharia Civil).
- O Módulo 2 (24h - presencial), representou o núcleo pedagógico focado na criação de artefatos educacionais sustentáveis e inclusivos. Sob a abordagem “Aprender fazendo Mão na Massa”, os professores, trabalhando em equipe, exploraram processos de reciclagem do plástico (PP, PEAD) para a confecção de novos materiais através do Precious Plastic e da reciclagem dos resíduos de impressão 3D para produção de artefatos educacionais interativos. A etapa da fabricação digital iniciou com uma introdução ao papel fundamental da reciclagem de plástico na sociedade

contemporânea, seguindo o conceito da Economia Circular. Em seguida foram abordados o uso de softwares de modelagem 3D, de impressoras 3D e de cortadoras a laser para a criação de materiais didáticos sustentáveis. O desenvolvimento de projetos FíGItAis seguiu um fluxo processual: discussão em grupo, determinação do artefato a ser projetado, criação de esboços 2D manuais, desenho informático e modelagem 3D do artefato, materialização com cortadora a laser (usando plástico reciclado do Precious Plastic) ou impressão 3D.

- O Módulo 3 (4h – presencial), finalizou o processo, dedicado à exposição dos projetos, onde as equipes de professores realizaram apresentações orais e demonstrações do interesse pedagógico e do uso dos artefatos desenvolvidos.

A Fase de Avaliação foi conduzida de forma contínua e final, analisando a participação e o engajamento dos cursistas, a qualidade e aplicabilidade dos artefatos educacionais produzidos. Metodologicamente, o projeto manteve alinhamento com abordagens pedagógicas ativas, como a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), que posiciona o estudante como um agente central na resolução de desafios complexos e a experimentação prática (SIQUEIRA; SCHARFFHAUSEN, 2024). A iniciativa também buscou conformidade com a Política Nacional de Educação Digital – PNED (Lei nº 14.533/2023) e as competências gerais da Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018), reforçando a sustentabilidade (economia circular, uso de plástico reciclado) e a criação de artefatos FíGItAis como seus eixos centrais.

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Na Fase de Execução da formação, o Módulo 1 aborda três temáticas complementares, apresentadas sob forma de conferências, que convergem para fomentar a inovação pedagógica ao articularem o tripé

Ensino-Pesquisa-Extensão, introduzirem novos paradigmas como a Economia Circular e os artefatos FíGItAis, e ao modernizarem disciplinas tradicionais com tecnologia digital. Elas criam estratégias de aprendizagem ativa baseadas na experiência e reflexão ao aplicarem a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), a filosofia “Aprender fazendo Mão na massa”, e metodologias de prototipagem e testes (etapa “Faço” do Design Circular; fluxo “Pensar/Representar”), utilizando intensivamente a fabricação digital. As três temáticas alinham-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ao endereçar a ODS 4 (Educação de Qualidade) pela qualificação docente e foco na educação inclusiva, a ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) pelo uso de Laboratórios Makers (Grea3D/LACA²I, UFPE), a ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), explicitamente citada, e centralmente a ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que é o pilar teórico da Temática 1 (reciclagem do plástico), da Temática 2 (Economia Circular) e aplicada na Temática 3 pela análise crítica de materiais e estudos de casos de aplicação.

TEMÁTICA: INTEGRAÇÃO DO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO NO CAMPO DA EDUCAÇÃO DIGITAL E SUSTENTABILIDADE

A primeira temática, insiste sobre a integração estratégica do tripé Ensino, Pesquisa e Extensão como um vetor fundamental para o avanço da Educação Digital e da sustentabilidade. A abordagem investigativa centra-se na produção e aplicação pedagógica de “artefatos FíGItAis”, que representam uma hibridização conceitual entre o mundo Físico, o Digital e o Social, permitindo interações tangíveis com dados e conceitos abstratos. Este método é sinergicamente combinado com a implementação de metodologias ativas em sala de aula, com destaque para a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). O arcabouço teórico do projeto é sustentado por conceitos-chave como a interdisciplinaridade e a aplicação da tecnologia computacional educativa. Um dos objetivos primários desta iniciativa é o fortalecimento sistemático da Educação Digital e da

Cultura Maker (Fig.1a) no contexto educacional formal. Este objetivo está programaticamente alinhado com as principais diretrizes de política educacional do Brasil, notadamente a Política Nacional de Educação Digital – PNE (Lei nº 14.533/2023) e a Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018). Ao fazê-lo, o projeto transcende o mero ensino de habilidades técnicas, visando cultivar um espectro de competências essenciais, que incluem o pensamento computacional, a criatividade, a cidadania digital, o pensamento disruptivo e, de forma crucial, o pensamento crítico e criativo sobre o desenvolvimento e o uso ético da tecnologia. Além disso, a proposta aborda a humanização da tecnologia e o desenvolvimento de competências socio-emocionais e colaborativas no processo de aprendizagem.

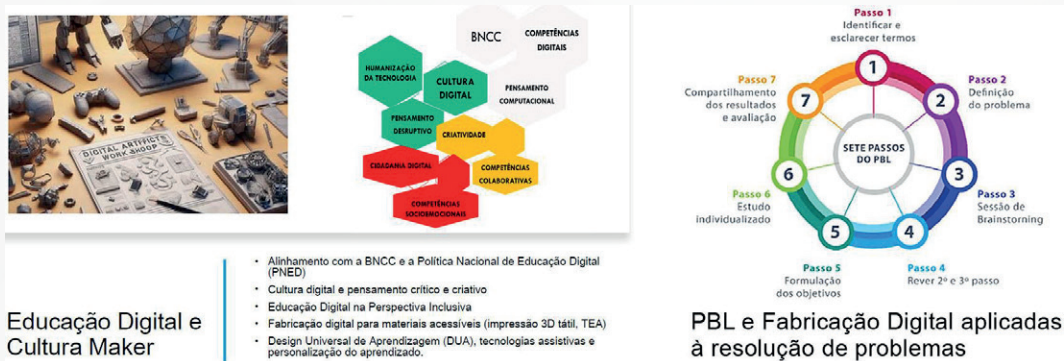
A dimensão da Pesquisa no projeto é substanciada por um portfólio robusto de iniciativas aplicadas e publicações acadêmicas originadas na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Centrais para essa atividade de pesquisa são os laboratórios LACA²¹ e Grea3D, que operam como núcleos de excelência em modelagem e fabricação digital aplicada. As aplicações práticas desta pesquisa demonstram notável diversidade e impacto social, estendendo-se a campos como a medicina, onde uma linha de pesquisa auxilia médicos a planejar cirurgias do coração através de modelagem e prototipagem 3D. Outras iniciativas, como o Grea3D Móvel e o projeto cultural Vitalino 3D, focam na disseminação dessas tecnologias e na sua aplicação para a preservação e difusão do patrimônio cultural. Um pilar definidor da agenda de pesquisa é o seu compromisso inequívoco com a sustentabilidade. Este compromisso é proeminentemente exemplificado pelo projeto Precious Plastic UFPE, que aborda diretamente questões ambientais através de um modelo de inovação inclusiva. O projeto implementa a reciclagem aplicada ao transformar resíduos plásticos pós-consumo, como tampas de garrafas plásticas, em novos artefatos funcionais e educacionais. Esta prática está intrinsecamente ligada à promoção de uma economia circular e à reutilização sistemática de resíduos gerados pelo próprio processo de impressão 3D,

mitigando assim o impacto ambiental da fabricação digital. A produção acadêmica resultante investiga a interseção metodológica entre o PBL (Fig.1b) e a fabricação digital na resolução de problemas. Publicações relevantes detalham, por exemplo, o processo da impressão 3D e a criação de moldes, que são subsequentemente utilizados para injeção de material reciclado na produção seriada de ferramentas pedagógicas, como o “Geomynoes”, um jogo geométrico didático voltado para o estudo dos poliedros.

O componente de Extensão do projeto traduz o conhecimento acadêmico e de pesquisa em ação social direta, com um foco particular na “Educação Digital na Perspectiva Inclusiva”. Esta meta é alcançada através do emprego estratégico de tecnologias de fabricação digital – notadamente a impressão 3D, o corte a laser e a modelagem 3D – como ferramentas de intervenção pedagógica. Um objetivo central é o desenvolvimento de recursos educacionais acessíveis. As aplicações específicas neste domínio incluem a criação de impressão 3D tátil para prover suporte a estudantes com deficiência visual, bem como o desenvolvimento de recursos customizados para aprendizes no Transtorno do Espectro Autista. Toda essa abordagem de acessibilidade é rigorosamente orientada pelos princípios do Design Universal de Aprendizagem e pela integração de tecnologias assistivas, visando a personalização efetiva do aprendizado. Este trabalho de extensão é institucionalizado por meio de uma parceria com a Secretaria de Educação do Recife, que tem como finalidade a “qualificação docente em educação digital, inclusiva e sustentabilidade”. A metodologia de formação dos professores é eminentemente prática, adotando a filosofia “Aprender fazendo Mão na massa”. A programação do curso reflete essa abordagem, combinando aulas teóricas, oficinas práticas e o desenvolvimento de projetos FiGitAis. O impacto esperado desta colaboração é multifacetado: visa a formação de professores para uso sustentável da tecnologia, o desenvolvimento de recursos educacionais acessíveis e, crucialmente, a multiplicação do conhecimento por toda a rede municipal de ensino. Esta estratégia holística reitera a importância

da colaboração entre universidade, professores e alunos para cultivar um ecossistema educacional que seja, ao mesmo tempo, inovador, sustentável e genuinamente inclusivo.

Fig. 1a: Conceito da Educação Digital e Cultura Maker. **Fig.1b:** Conceito PBL.



Fonte: autores, 2025.

TEMÁTICA: ECONOMIA CIRCULAR NOS ESPAÇOS MAKER

A segunda temática parte de uma crítica fundamental ao modelo econômico linear “extrair > produzir > consumir > descartar” que, impulsionado pela produção em série da Revolução Industrial, se revelou insustentável diante da finitude dos recursos naturais do planeta. Citando a insustentabilidade do crescimento exponencial num mundo finito, o estudo propõe a Economia Circular (Fig.2) como um paradigma alternativo necessário. Este modelo visa romper com a lógica linear ao se basear nos ciclos da natureza, onde se busca um equilíbrio ecológico. A Economia Circular é definida como uma economia verdadeiramente sustentável, funcionando sem desperdício, economizando recursos e operando em sinergia com a biosfera, num sistema onde resíduos são redefinidos como matéria-prima ou nutrientes para um novo ciclo produtivo, distinguindo-se entre ciclos biológicos e técnicos.

A implementação deste modelo é intrinsecamente ligada à inovação e a uma reconfiguração do Design, exigindo a criação de um ciclo de vida fechado, também conhecido como “Do Berço ao Berço” (Cradle

to Cradle). O estudo posiciona os Espaços Maker – como os laboratórios da UFPE e o Precious Plastic – como ambientes cruciais para a aplicação prática desses conceitos. Tais espaços requerem uma infraestrutura que inclui não apenas tecnologias digitais (como impressão 3D e corte a laser), ferramentas manuais e insumos, mas fundamentalmente a formação de pessoas, promovendo a criatividade e o pensamento crítico. Nesses laboratórios, é possível aplicar pilares da Economia Circular, como o design para durabilidade e reparabilidade, permitindo a transformação de resíduos em novos produtos. Esta abordagem fomenta uma mentalidade interdisciplinar, conectando design, engenharia e sustentabilidade, e exige que o design de produtos considere todo o ciclo de vida do objeto, incluindo seu destino pós-uso e potencial de regeneração.

Para sistematizar essa transição, o projeto detalha um processo de Design Circular estruturado em quatro etapas: “Entender > Definir > Faço > Liberar”. A primeira, “Entender”, foca na migração do pensamento linear para o circular. A segunda, “Definir”, articula o desafio e identifica oportunidades de circularidade. A terceira etapa, “Faço”, é a fase prática de “aprender-fazendo”, centrada em construir protótipos e aprender por meio de testes para atender às necessidades dos usuários.

Fig.2: Ciclo Técnico e Ciclo Biológico.



Fonte: <https://ideiacircular.com/ciclo-tecnico-e-ciclo-biologico/>

A etapa final, “Liberar”, envolve o lançamento do conceito, a coleta contínua de feedback para evolução e a criação de novas parcerias. Este processo visa alimentar um framework operacional baseado em “Inputs Circulares” (reciclados, renováveis), “Design do Produto” (usar menos, usá-lo mais, usá-lo novamente), “Design do Processo Circulares” (resíduos = alimentos) e “Fluxos Circulares” (reutilizar, remanufaturar, reciclar), consolidando a transformação de processos e mentalidades para um futuro mais sustentável.

TEMÁTICA: BOAS PRÁTICAS E APRESENTAÇÃO DE ESTUDOS DE CASOS NA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

A terceira temática aborda a fundamentação teórica na revalorização da disciplina da Geometria Descritiva para as engenharias, disciplina definida originalmente por Gaspard Monge (1798)⁶, como uma ferramenta intelectual e prática indispensável. O projeto resgata os dois objetivos centrais de Monge: primeiro, a Geometria Descritiva como linguagem universal para a “representação exata” de objetos tridimensionais (3D) em projeções bidimensionais (2D), essencial à concepção e execução de projetos; e segundo, como meio de “deduzir” formas e posições relativas, exercitando as faculdades intelectuais e servindo como “meio de buscar a verdade” ao transitar do conhecido ao desconhecido. Esta base histórica é atualizada pela definição moderna, que utiliza a Geometria Descritiva para determinar rigorosamente distâncias, ângulos, áreas e volumes em suas verdadeiras grandezas a partir de projeções, aplicando-se tanto ao restauro de estruturas históricas quanto à concepção de infraestruturas modernas complexas.

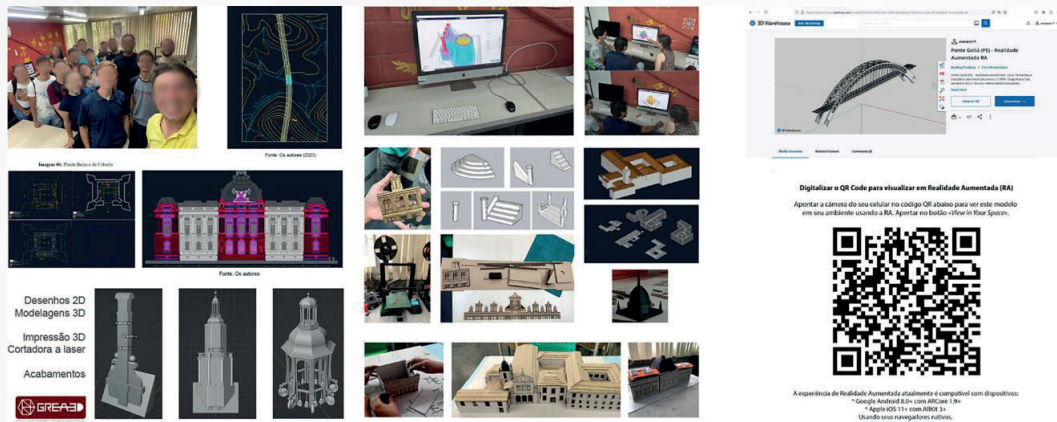
Partindo de uma disciplina clássica na formação dos Engenheiros, o vetor principal do projeto é a integração da sustentabilidade e da fabri-

6 Gaspard Monge (1746–1818) é considerado o fundador da Geometria Descritiva. Ele foi um matemático e engenheiro francês que, no século XVIII, sistematizou os métodos de representação de objetos tridimensionais em um plano bidimensional.

cação digital ao ensino. A sustentabilidade é abordada de forma crítica, notadamente na escolha de materiais estruturais, alinhando-se a sete dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A apresentação destaca, por exemplo, a madeira como o material mais ecológico, pois atua como um sumidouro de carbono, em oposição direta ao aço, que gera uma pegada de carbono massiva e possui resistência mecânica inferior na exposição severa ao fogo. Esta filosofia permeia o fluxo de trabalho da fabricação digital, que é dividido em dois momentos: o “Pensar - dimensão Imaterial” e o “Representar - dimensão Material”. O primeiro momento, correspondente ao campo da pesquisa, foca na busca documental, na otimização da forma e estrutura e na seleção de materiais através de simulação digital, resultando em protótipos em escala reduzida. O segundo momento, o campo físico, foca na materialização em escala real, utilizando materiais naturais, reciclados e biomateriais.

A materialização desse processo utiliza intensivamente tecnologias de prototipagem rápida, como modelagem 3D, impressão 3D e cortadoras a laser, com estudantes incentivados a explorar Realidade Aumentada para a exposição dos projetos (Fig.3). A aplicação prática da disciplina é demonstrada através de dois eixos temáticos principais: o primeiro focado em projetos de estradas, utilizando como estudo de caso o Arco Viário Metropolitano do Recife com documentos reais; e o segundo focado em projetos de telhados, analisando soluções geométricas em casos históricos e contemporâneos, nacionais e internacionais. A iniciativa fomenta parcerias inovadoras e estratégicas, como a colaboração com o LITPEG (Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia) da UFPE para o desenvolvimento de biomateriais e com o Laboratório Precious Plastic da UFPE para a fabricação e uso de plásticos reciclados. Os resultados acadêmicos do projeto estão evidenciando a contribuição da disciplina para a inovação pedagógica e a sustentabilidade na Engenharia Civil.

Fig. 3: Modelagem 3D, impressão 3D e prototipagem rápida (Grea3D); Realidade Aumentada.



Fonte: Autores, 2025.

DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

Na Fase de Execução da formação, o Módulo 2 aborda a questão da fabricação digital e dos resíduos plásticos. A temática fomenta a inovação pedagógica ao fundamentar-se na “Educação como experiência” (DEWEY, 1997, p.19), que estabelece uma conexão orgânica entre a vivência pessoal e a educação para superar a falta de exemplos pró-ambientais. A abordagem cria também estratégias de aprendizagem ativa e reflexiva ao aplicar esta pedagogia experiencial na prática, utilizando a reciclagem de resíduos plásticos e a fabricação digital no projeto “Precious Plastic UFPE”, permitindo ampliar o olhar sobre o modo de vida insustentável. Deste modo, o alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável é robusto: atende à ODS 4 (Educação de Qualidade) ao posicionar a educação como pilar fundamental, à ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) ao promover a inovação social e a fabricação digital, à ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) ao focar na geração de renda em comunidades em vulnerabilidade socioambiental, e centralmente à ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao criticar o modelo linear e implementar a Economia Circular, redefinindo resíduos como insumos.

TEMÁTICA: FABRICAÇÃO DIGITAL E RESÍDUO PLÁSTICO: REPENSANDO PRODUTOS A PARTIR DA SUSTENTABILIDADE

A abordagem sobre o tema, articula-se academicamente a partir da constatação de que o modo de vida humano contemporâneo é “predatório e insustentável”. Esta crise é evidenciada pela poluição plástica, com dados da ONU (2022)⁷ indicando que a vasta maioria do plástico produzido desde 1950 tornou-se resíduo (Fig.4). Como alternativa a este modelo, o projeto adota a Economia Circular como referencial teórico, um sistema resiliente que busca a sinergia com a biosfera ao redefinir resíduos como insumos para a produção de novos produtos. Esta abordagem exige uma mudança nas cadeias de produção e no ciclo de vida dos produtos. A Economia Circular está intrinsecamente ligada à inovação, compreendida como mudança de comportamento (AUDY, 2017), e à inovação social, definida como uma ruptura nas práticas habituais que gera respostas criativas para problemas econômicos e sociais, não satisfeitos pelo mercado ou pelo Estado.

Neste contexto, o “Precious Plastic UFPE” emerge como a materialização prática da investigação, configurando-se como um projeto de ensino, pesquisa e extensão inserido na rede colaborativa internacional homônima. O objetivo central do projeto é utilizar a reciclagem de resíduos plásticos e a fabricação digital para transformar resíduos em novos produtos. A iniciativa visa um impacto multidimensional (social, ambiental, econômico), com foco particular na geração de renda e inovação social junto a comunidades em vulnerabilidade socioambiental em Pernambuco. A educação é posicionada como um pilar fundamental, partindo do desafio de que crianças e adolescentes estão inseridos no modelo insustentável e carecem de exemplos pró-ambientais. Para superar isso, o projeto baseia-se na concepção de “Educação como experiência” (DEWEY,

7 ONU, Negociações sobre poluição plástica são adiadas. <https://brasil.un.org/pt-br/285012-negocia%C3%A7%C3%B5es-sobre-polui%C3%A7%C3%A3o-pl%C3%A1stica-s%C3%A3o-adiadas>

1997, p.19), que estabelece uma conexão orgânica entre a vivência pessoal e a educação, buscando “ampliar o olhar” dos alunos para o potencial criativo do reaproveitamento.

Fig. 4: A insustentabilidade do plástico na economia linear.



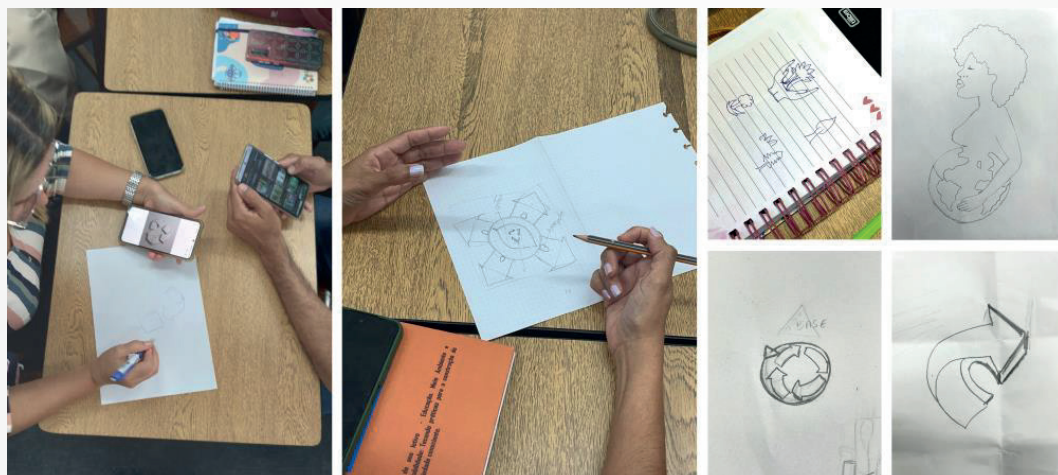
Fonte: Autores + <https://www.unep.org/events/press-conference/turning-tap-report-launch>

DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS

O fluxo processual para a criação dos artefatos FiGitAis seguiu etapas definidas: começando com a formação dos grupos e a discussão em grupo para a determinação do artefato mais adaptado ao contexto de ensino cotidiano. O tema de um artefato que expressasse simbolicamente a sustentabilidade e o meio ambiente, para acompanhar ou ilustrar essas temáticas em sala de aula integrando a inclusão, foi o mais representativo dos artefatos desenvolvidos durante o curso de extensão. Cada projeto por grupo levando à produção de um artefato específico a ser realizado, passava pela determinação formal do objeto através de buscas feitas em esboços 2D manuais, antecipando de antemão as restrições e características técnicas reais impostas pelas máquinas de prototipagem rápida (Fig.5). Em seguida, evoluía para o desenho informático vetorial (Adobe Illustrator) e modelagem 3D (Tinker CAD) (Fig.6). A etapa final compreendia a escolha específica dos tipos de placas de plástico reciclado, baseada em critérios táteis e de contraste visual alinhados às características físicas de inclusão, e a materialização dos artefatos por cortadora a laser ou impressão 3D, sendo também possível combinar as duas técnicas (Fig.7). Todas

as etapas, das primeiras discussões por grupo na busca da ideia do artefato até a sua realização física, foram realizadas sob o acompanhamento sistemático de professores e monitores de graduação e pós-graduação, da UFPE. Concluído o desenvolvimento, a última etapa foi inteiramente dedicada à exposição dos projetos. Nesta fase final, as equipes de professoras realizaram apresentações orais e demonstrações para apresentar a justificativa projetual simbólica, formal e pedagógica, assim como a ergonomia e a manipulação no uso dos artefatos desenvolvidos, para compartilhar a experiência coletivamente, procurando melhorias nos artefatos e despertar novas ideias de produções pedagógicas.

Fig. 5: Buscas projetuais em grupo. Realização de esboços 2D manuais.



Fonte: Autores, 2025.

Uma representante da Prefeitura do Recife forneceu um depoimento sobre as atividades realizadas a partir da parceria entre Universidade Federal de Pernambuco e Secretaria de Educação do Recife:

“Diante da possibilidade de utilizar o plástico reciclado, o desafio lançado aos educadores foi a criação de artefatos sustentáveis integrando a dimensão da inclusão. As turmas se organizaram em pequenos grupos para desenvolver a elaboração desses artefatos a partir de esboços manuais repassados em modelagem 3D, que seriam posteriormente materializados com as placas de plástico reciclado, que é a matéria-prima base do Precious Plastic. Essa vivência revelou-se extrema-

mente importante, não apenas ampliando os olhares sobre a sustentabilidade e a inclusão, mas também fortalecendo os conhecimentos da equipe sobre o potencial da tecnologia 3D e o impacto positivo da reciclagem na educação.” (Mirelle Reis, Chefe de Divisão de Inovação na Educação, Sec. Educação, Prefeitura do Recife, 2025).

Fig. 6: Desenhos e modelagens 3D. Apresentação das ferramentas e dos materiais (Grea3D).



Fonte: Autores, 2025.

Fig. 7: Placas de plásticos reciclados e tãeis, utilizadas. Artefatos realizados no curso (Grea3D).



Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados empíricos, coletados a partir da implementação do projeto de extensão “Sustentabilidade e Fabricação Digital” em Recife, permite a esquematização de achados em categorias analíticas que dialogam diretamente com o arcabouço teórico. Os resultados demonstram a superação efetiva do modelo pedagógico tradicional, criticado por Fausto CAMARGO e Thuinie DAROS (2018, p.10) por sua ineficácia e desalinhamento com a sociedade digital. A implementação da metodologia “Aprender fazendo Mão na Massa” para setenta professores da rede municipal do Recife constitui o principal achado empírico nesta categoria. Este resultado materializa a definição de “Inovação Pedagógica” e “Metodologias Ativas” ao posicionar os docentes como protagonistas de seu aprendizado. A discussão aprofunda-se ao constatar o caráter meta-pedagógico da intervenção: ao serem colocados na posição de aprendizes ativos, os professores não apenas assimilaram conteúdo, mas vivenciaram a própria metodologia que deverão aplicar. Este achado é eticamente relevante, pois rompe o ciclo vicioso de professores ensinados passivamente que tentam lecionar ativamente. A âncora do projeto na resolução de um “problema real” – a crise do plástico – valida a tese de CAMARGO e DAROS (2018, p.12) de que a aprendizagem deve focar no desenvolvimento de competências para resolver novos problemas. A fabricação digital atuou como o mecanismo que rompeu a cisão entre concepção e execução, validando empiricamente que o foco no processo de achar, tentar, testar e a aceitação do erro como parte da aprendizagem geram um saber aplicável e significativo, em oposição ao “saber inerte” do modelo expositivo.

Os resultados referentes ao segundo pilar teórico demonstram uma aplicação coerente aplicada da filosofia de John DEWEY (1989), explicitamente citado como referencial durante o projeto. A sistematização dos achados revela que a estrutura do projeto foi desenhada para garantir o “princípio da Continuidade”. A experiência presente (Módulo 2, “Mão na Massa”) foi planejada para modificar a qualidade das experiências subse-

quentes dos professores em suas salas de aula. O achado central aqui é o “artefato FíGiTAI”, que funcionou como o veículo material que encapsula a experiência do professor e a transporta para a experiência do aluno, mediando a continuidade experiencial. Adicionalmente, o projeto materializou o “princípio da Interação” ao criar uma situação deweyana onde as condições internas dos professores (suas competências e propósitos) transacionaram com as condições objetivas do Laboratório Grea3D (ferramentas, materiais). A discussão inovadora emerge da constatação de que o conceito de artefato FíGiTAI é a própria situação deweyana encapsulada. O projeto também operacionalizou o “método da inteligência” de DEWEY através do “Design Circular”. Contudo, a análise revela uma expansão da teoria: o projeto não visou apenas captar o significado da experiência, mas usou o método para transformar a realidade material, evoluindo para um método de criação inteligente imbuído de um propósito ético que representa a Economia Circular.

No que tange à epistemologia da prática de Donald SCHÖN, os resultados indicam que o projeto constitui uma materialização aplicada de seus conceitos. O Laboratório Grea3D funcionou empiricamente como um “Practicum Reflexivo”, um espaço seguro para os professores aprenderem “fazendo” (learning by doing), que assim lidaram com as complexidades, ambiguidades, incertezas e dilemas difíceis que surgem no exercício diário da profissão. A categoria analítica central identificada foi o ciclo de criação do artefato FíGiTAI, que mapeou perfeitamente o processo de Donald SCHÖN: os professores iniciaram com seu “Saber-na-Ação” (Knowing-in-Action); foram confrontados com “surpresas” (como falhas na impressão 3D do plástico reciclado); o que desencadeou a “Reflexão-na-Ação” (Reflection-in-Action) – o pensar sobre o que se está fazendo enquanto se está fazendo – culminando em experimentos no local (o redesenho do modelo CAD para nova tentativa). A discussão destes achados permite endereçar o “dilema Rigor versus Relevância” de Donald SCHÖN. O projeto superou a “Racionalidade Técnica” ao cultivar a “Arte da Prática” (Artistry), a competência para lidar com as zonas indeterminadas

da prática em relação à sustentabilidade em geral e a inclusão em sala de aula. A inovação metodológica do formato híbrido otimizou o *practicum*, reservando o tempo presencial para o desenvolvimento da “Arte da Prática”. Eticamente, a forte ênfase no trabalho em equipe responde também às críticas de individualismo na teoria de Donald SCHÖN, propondo a reflexão como um processo social e dialógico, fundamental para a pesquisa científica brasileira.

A análise dos resultados à luz da obra de Alexandra PAIO (2021) revela uma relação dialética de validação e expansão. O projeto materializou o arcabouço teórico de Alexandra PAIO, que posiciona a fabricação digital como uma resposta urgente e transformadora ao desalinhamento educacional. Os achados confirmam a implementação da “integração FígitAl” e da metodologia “Mão na massa”, resultando na democratização da tecnologia ao capacitar os professores da rede municipal do Recife. Contudo, a discussão central emerge de uma inovação conceitual identificada na práxis: o projeto expandiu a definição de Alexandra PAIO. Enquanto a teoria focava na simples linearidade da integração “Físico-Digital-Social”, os achados do projeto demonstraram a necessidade de questionar/solicitar firmemente a terceira dimensão, cunhando o termo artefatos FíGitAis. Esta dimensão social - observada na colaboração entre equipes, na parceria entre instituições de ensino e nos objetivos dos artefatos produzidos voltados à sustentabilidade e inclusão - representa uma contribuição teórica significativa, sugerindo que o potencial dos ambientes colaborativos FígitAis existe, complementando a pura produção material. Ademais, o projeto completou o referencial de Alexandra PAIO ao elevar a sustentabilidade de uma “perspetiva humanista” para o princípio organizador central da práxis. Ao introduzir o robusto quadro da Economia Circular e a iniciativa do Precious Plastic UFPE, a prática forneceu o “como” operacional que enriqueceu o “porquê” teórico (PAIO, 2021, p.23).

Finalmente, a sistematização dos resultados empíricos demonstra um alinhamento ético e programático direto com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU. Os achados confirmam que

o projeto foi planejado e calibrado para contribuir com múltiplas metas. A categoria central é o ODS 4 (Educação de Qualidade), materializado pela formação dos professores da rede municipal do Recife, focando na “educação inclusiva, de qualidade e equitativa”. Especificamente, o projeto operacionalizou a meta 4.7 (educação para o desenvolvimento sustentável), ao centrar-se na crise do material plástico. Os resultados também confirmam contribuições ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), pelo fomento à inovação e uso de tecnologias de fabricação digital alinhadas à Política Nacional de Educação Digital. A discussão se aprofunda na intersecção com o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao abordar o problema local de resíduos plásticos representada pela meta 11.6, e, crucialmente, com o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis). O uso da Economia Circular como paradigma é um achado que responde diretamente às metas 12.2 (uso eficiente de recursos naturais) e 12.5 (redução substancial da geração de resíduos por reciclagem e reuso). A práxis de redefinir resíduos como matéria-prima valorisa o projeto não apenas como um modelo pedagógico (ODS 4), mas como um modelo ético de pesquisa aplicada que funde inovação tecnológica (ODS 9) e ação socioambiental (ODS 11 e 12) em conformidade com as diretrizes científicas do país.

PONTOS DE ATENÇÃO

Uma análise crítica dos resultados, contudo, revela alguns pontos de vigilância entre a intenção teórica e a exequibilidade prática do projeto. Embora a iniciativa tenha logrado fomentar estratégias de aprendizagem ativa (CAMARGO; DAROS, 2018, p.34), a formação de setenta professores busca ir além das barreiras sistêmicas tradicionais que estes docentes poderiam enfrentar ao tentar replicar a inovação em suas escolas. Isso questiona a efetiva “multiplicação do conhecimento” e a escalabilidade da proposta. Similarmente, a ênfase na experiência (DEWEY, 1997, p.19) poderia correr o risco de se tornar “mis-educativa” (mis-educative), ao

focar exclusivamente no instrumentalismo das ferramentas de fabricação digital, por isso a vigilância sobre a profundidade do propósito pedagógico, nos aspectos sociais e culturais, para além do artefato, é capital. A prática reflexiva (SCHÖN, 1987, p.22), central ao projeto, mostra-se dependente do período de execução do projeto. Um tempo insuficiente no desenvolvimento do projeto poderia levar a priorizar a “Reflexão-na-Ação” (reflection-in-action) em detrimento do ideal “Reflexão sobre a Ação” (reflection on action). A “democratização” (PAIO, 2021, p.16), por sua vez, depende de uma boa repartição territorial das infraestruturas tecnológicas pedagógicas para evidenciar o “modelo replicável”. Por fim, o alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável poderia ser ainda ampliado para incluir outros objetivos, como o ODS 10 (Redução das Desigualdades), aprofundando a questão sensível da realidade da exclusão digital e da desigualdade de acesso (meta 4.5), privilegiando as soluções de alta tecnologia acessíveis à maioria da rede de ensino e incentivando a autossuficiência, como por exemplo, a autoprodução dos insumos localmente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, ao qualificar setenta docentes da rede pública do Recife nas áreas de fabricação digital e sustentabilidade, alcançou seu objetivo central de fomentar a inovação pedagógica através de metodologias ativas. As principais conclusões desta pesquisa confirmam a eficácia da abordagem “Aprender fazendo Mão na Massa”, alinhada aos referenciais teóricos de John DEWEY, Fausto CAMARGO e Thuinie DAROS, para romper com o modelo expositivo tradicional. A pesquisa validou empiricamente que o laboratório de fabricação digital Grea3D, funcionou como um “Practicum Reflexivo”, conforme definido por Donald SCHÖN, permitindo aos professores superar o dilema “Rigor versus Relevância”. Ao vivenciarem o ciclo de “Reflexão-na-Ação” diante de surpresas no processo de reciclagem, os docentes puderam cultivar a “Arte da Prática”

(Artistry), uma competência essencial para lidar com as complexidades da sala de aula. Contudo, a contribuição conceitual mais significativa desta investigação, que expande as análises referidas no resumo, é a resignificação do termo “FígitAl” segundo Alexandra PAIO. Os achados reforçaram a necessidade de sempre insistir na valorização da terceira dimensão do binômio Físico-Digital, cunhando o termo “artefatos FíGitAis”. Esta dimensão “Social”, observada na colaboração, na parceria institucional e nos objetivos de sustentabilidade e de inclusão, revelou-se um pilar fundamental para a práxis pedagógica. Ademais, o projeto demonstrou uma operacionalização robusta dos ODS 4, 9, 11 e 12, materializando a Economia Circular através da iniciativa Precious Plastic UFPE, que transformou resíduos em insumos educacionais.

Para a comunidade científica, o projeto oferece um modelo empírico de qualificação docente que integra efetivamente tecnologia, sustentabilidade e pedagogia reflexiva. O conceito de “artefato FíGitAl” é apresentado como uma nova categoria analítica para futuras investigações em Educação Maker e inclusiva. Não obstante, os resultados abrem novas oportunidades de pesquisa, destacadas nos “Pontos de Atenção”. Investigações futuras são necessárias para endereçar o desafio da escalabilidade, analisando como superar as barreiras sistêmicas para a replicação completa desta metodologia em ambientes e locais pedagógicos diversificados e heterogêneos. Sugere-se também a realização de estudos longitudinais para avaliar se os docentes mantêm a “Reflexão sobre a Ação” após o término da formação, mitigando o risco deweyano de uma experiência “mis-educativa” focada no aspecto “tecnossedutor” das ferramentas. A “democratização”, pilar na obra de Alexandra PAIO, também demanda prospecção sobre modelos replicáveis de infraestrutura tecnológica e a efetiva repartição territorial dos recursos necessários.

Por fim, vislumbra-se a necessidade de ampliar o escopo da investigação para dialogar com outros Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Conforme apontado na análise crítica, projeta-se a inclusão direta do ODS 10 (Redução das Desigualdades) como um eixo central para pesquisas

futuras. Tal direcionamento implica aprofundar a questão sensível da exclusão digital e da desigualdade de acesso (meta 4.5) na rede de ensino. Uma prospecção empírica promissora reside na investigação de soluções de alta tecnologia que sejam, paradoxalmente, acessíveis à maioria, com foco na autossuficiência. O desenvolvimento de estratégias para a auto-produção local dos insumos, como a fabricação de filamentos a partir de plástico reciclado na própria escola, ou a produção de biomateriais, representaria a próxima fronteira desta pesquisa, fechando o ciclo da Economia Circular, indo mais na evolução desta no sistema Berço ao Berço (Cradle to Cradle, C2C) no nível da comunidade escolar e potencializando uma inovação social cada vez mais inclusiva e sustentável.

REFERÊNCIAS

AUDY, Jorge. A inovação, o desenvolvimento e o papel da Universidade. *Estudos Avançados*, 31(90), May-Aug 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/rtKFhmw4MF6TPm7wH9HSpFK/?lang=pt>>. Acesso em: 04 fev. 2025.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Versão final. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 02 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023. Institui a Política Nacional de Educação Digital (PNED) [...]. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 12 jan. 2023. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14533.htm. Acesso em: 02 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.852, de 3 de maio de 2024. Institui o marco legal para a indústria de jogos eletrônicos e para os jogos de fantasia; e altera a Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14852.htm. Acesso em: 10 jul. 2025.

CAMARGO, Fausto; DAROS, Thuinie. A sala de aula inovadora: estratégias pedagógicas para fomentar o aprendizado ativo. Porto Alegre: **Penso**, 2018.

DEWEY, John. Dewey.Experience And Education. New York City: **Free Press**, 1997.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). [S. l.], ONU, 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 02 fev. 2025.

PAIO, Alexandra. Desafios na educação do século XXI. A fabricação digital como recurso didatico. **Boletim da Aproped** # 35, dezembro 2021. Disponível em: https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/25312/1/article_87214.pdf. Acesso em: 04_fev. 2025.

SCHÖN, Donald A. Educating the Reflective Practitioner. San Francisco: **Jossey-Bass Publishers**, 1987.

SIQUEIRA, José Edeson de Melo; SCHARFFHAUSEN, Jean-Baptiste. Geometria descritiva e fabricação digital aplicadas à resolução de problemas na engenharia civil com PBL. Recife: **Editora UFPE**, v. 1, 2024.