



Edição Especial

VII Simpósio de Licenciaturas em Ciências Exatas e em Computação
Universidade Federal do Paraná – Pontal do Paraná (PR), 2025

ENERGIAS RENOVÁVEIS E SUSTENTABILIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA: A ECO-ÁRVORE COMO RECURSO DIDÁTICO INTERDISCIPLINAR

*RENEWABLE ENERGY AND SUSTAINABILITY IN SCHOOL EDUCATION: THE
ECO-TREE AS AN INTERDISCIPLINARY EDUCATIONAL RESOURCE*

Melissa Ester Cartaxo¹
Selma dos Santos Rosa²

Resumo

A intensificação das crises ambientais, o esgotamento de recursos naturais e o avanço da poluição por microplásticos demandam novas abordagens no ensino, capazes de formar cidadãos conscientes e preparados para lidar com os desafios da sustentabilidade. Nesse contexto, a educação ambiental aliada à ciência e tecnologia torna-se estratégica para promover a compreensão da economia circular, da gestão de resíduos e do uso de fontes renováveis de energia desde a escola básica. Este artigo tem como proposição investigar e desenvolver uma proposta interdisciplinar de recurso didático baseado em Geração Híbrida de Energia (solar e eólica), automação com Arduino e princípios da Economia Circular, visando à promoção da educação ambiental e da cultura científica em escolas públicas da Educação Básica. Neste escopo, são propostas atividades didáticas integradas que articulam conceitos de Ciências da Natureza, Física e Sustentabilidade, estimulando o protagonismo estudantil por meio de práticas com sensores, programação e prototipagem com Arduino. A Eco-Árvore, como proposta aplicada, exemplifica a utilização de uma estação híbrida de energia solar e eólica associada a uma miniestação meteorológica automatizada, funcionando como ferramenta de apoio para aulas interdisciplinares e

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Pontal do Paraná - PR.

² Universidade Federal do Paraná, Doutora em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina.

REPPE: Revista do Programa de Pós-Graduação em Ensino

Universidade Estadual do Norte do Paraná, Cornélio Procópio (PR), v. 9, n. 2, p. 207-228, 2025

ISSN: 2526-9542



projetos de extensão. Mesmo diante de limitações estruturais, como a ausência de infraestrutura para impressão 3D, o projeto reforça a relevância de inserir temas como energias limpas e poluição plástica no currículo, fortalecendo competências previstas na BNCC e contribuindo para os ODS 4, 7 e 12.

Palavras-chave: Educação ambiental; Energia renovável; Aprendizagem baseada em Arduino; Economia circular.

Abstract

The intensification of environmental crises, the depletion of natural resources, and the advance of microplastic pollution demand new approaches in education, capable of forming conscious citizens prepared to deal with the challenges of sustainability. In this context, environmental education combined with science and technology becomes strategic to promote the understanding of the circular economy, waste management, and the use of renewable energy sources starting in Basic Education. This article proposes to investigate and develop an interdisciplinary proposal for a teaching resource based on hybrid energy generation (solar and wind), automation with Arduino, and principles of the Circular Economy, aiming to promote environmental education and scientific culture in public basic education schools. Within this scope, integrated didactic activities are proposed that articulate concepts of Natural Sciences, Physics, and Sustainability, stimulating student protagonism through practices with sensors, programming, and prototyping with Arduino. The "Eco-Tree", as an applied proposal, exemplifies the use of a hybrid solar and wind energy station associated with an automated weather station, functioning as a support tool for interdisciplinary classes and extension projects. Despite structural limitations, such as the lack of infrastructure for 3D printing, the project reinforces the relevance of inserting themes like clean energy and plastic pollution into the curriculum, strengthening competencies provided for in the National Common Curricular Base (BNCC) and contributing to SDGs 4, 7, and 12.

Keywords: Environmental education; Renewable energy; Arduino-based learning; Circular economy.

Introdução

Nas últimas décadas, a intensificação das crises ambientais, o esgotamento de recursos não renováveis e o avanço da poluição por resíduos sólidos, especialmente microplásticos, evidenciam a necessidade de soluções inovadoras, integradas e sustentáveis (Alves, 2019). A crescente demanda por energia tem causado impactos ambientais como desmatamento, poluição do solo, do ar e da água, além da chuva ácida (Alves, 2019). Por isso, é necessário diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de fontes fósseis.

Diante desse cenário, a adoção de fontes renováveis de energia, como solar e eólica, pode mitigar os impactos ambientais, reduzir emissões de gases de efeito

estufa e promover uma economia de baixo carbono (Jesus, 2021; Marques, 2020; Filho, Cremasco e Seraphim, 2010).

Ao mesmo tempo, a Educação Ambiental ocupa papel central na formação de cidadãos conscientes, capazes de compreender a urgência das mudanças climáticas, da economia circular e da gestão correta dos resíduos. Segundo a BNCC (Brasil, 2018) e a UNESCO (2019), é imprescindível que as escolas promovam competências como responsabilidade socioambiental, cultura digital e protagonismo juvenil, preparando as novas gerações para atuarem em contextos cada vez mais complexos e desafiadores.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar e desenvolver uma proposta interdisciplinar de recurso didático baseado em geração híbrida de energia (solar e eólica), automação com Arduino e princípios da economia circular, visando à promoção da educação ambiental e da cultura científica em escolas públicas da Educação Básica.

A Eco-Árvore, em contextos interdisciplinares, combina geração híbrida de energia limpa — por meio de painéis fotovoltaicos e turbina eólica — a uma miniestação meteorológica automatizada com sensores gerenciados via Arduino. Além de um sistema técnico de microgeração, a estrutura foi idealizada para funcionar como um recurso pedagógico, capaz de aproximar teoria e prática em aulas de Ciências da Natureza, Física e Sustentabilidade.

A proposta busca, ainda, fomentar a reflexão sobre a poluição por microplásticos e a necessidade de reaproveitamento de materiais, uma vez que, em sua versão completa, a estrutura prevê o uso de impressão 3D com filamentos produzidos a partir de resíduos plásticos reciclados (Montagner et al., 2021). Assim, alia-se tecnologia, educação ambiental e princípios da economia circular, promovendo espaços de aprendizagem mais interativos, contextualizados e críticos.

Mesmo diante de limitações estruturais, como a falta de uma extrusora e a ausência de recursos financeiros para viabilizar a execução imediata da estrutura definitiva, o projeto permanece ativo como proposta educativa. Com aulas previstas para o primeiro semestre de 2026, a iniciativa reforça o compromisso de formar estudantes críticos, engajados e conscientes, capazes de atuar como agentes de transformação na construção de uma sociedade mais justa, ambientalmente responsável e sustentável.

Por fim, destaca-se que este artigo constitui uma versão melhorada de trabalhos anteriores sobre a Eco-Árvore, ampliando a fundamentação teórica, detalhando os processos metodológicos e incorporando novas perspectivas de aplicação.

Procedimentos metodológicos

Este estudo adota uma abordagem qualitativa, do tipo pesquisa-ação, com caráter exploratório e educativo (Coutinho, 2023). A proposta metodológica foi estruturada com base em três eixos integrados:

a) Desenvolvimento do Protótipo Experimental: nesta etapa, busca-se testar o desempenho do sistema em simulações e validar a integração dos componentes em condições reais, utilizando parâmetros ambientais medidos localmente. O protótipo inicial contempla, sobretudo, a estação meteorológica, responsável pelo monitoramento das variáveis climáticas (como velocidade e direção do vento, temperatura, umidade e radiação solar), além do gerador eólico em fase de testes de rotação e ajuste mecânico. Mesmo na ausência temporária do módulo fotovoltaico, está previsto o desenvolvimento de ensaios preliminares de movimentação da estrutura que receberá a placa solar, a fim de verificar a resposta do sistema de orientação e avaliar sua viabilidade para futura integração. Dessa forma, ainda que parcial, o protótipo experimental permite antecipar ajustes, identificar limitações técnicas e gerar dados consistentes para orientar a evolução do projeto em direção à sua versão definitiva.

b) Planejamento e Aplicação Didática: consiste na elaboração de um plano de aulas teóricas e práticas, a ser implementado com estudantes do Ensino Médio de escolas públicas da Ilha do Mel, explorando os conceitos de sustentabilidade, energias renováveis e sensoriamento aplicado.

c) Análise de Dados e Avaliação Educacional: prevê a aplicação de instrumentos de avaliação qualitativos e quantitativos, com foco na percepção dos estudantes, aprendizado obtido e impacto da proposta na formação cidadã e científica.

Neste artigo, apresentamos parcialmente o eixo (a) Desenvolvimento do Protótipo Experimental, com foco metodológico fundamentado no *Design Thinking* com ênfase socioambiental. Essa abordagem promove a resolução criativa e colaborativa de problemas complexos, seguindo as etapas da Figura 1.

Figura 1: Etapas do Design Thinking aplicadas à pesquisa-ação

Fonte: Autoria própria

Pelo exposto na figura 1, esta fase está organizada em um ciclo contínuo, porém com oportunidades de revisão e manutenção contínuas, a saber:

- a) Empatia: Levantamento das necessidades da comunidade escolar da Ilha do Mel e análise das condições ambientais locais (ex. incidência solar, direção dos ventos, relevo).
- b) Definição do problema: Mapeamento de desafios técnicos, pedagógicos e logísticos para a implantação da Eco-Árvore.
- c) Prototipagem: Construção de modelos físicos e digitais (via impressão 3D) para testes preliminares.
- d) Testes e Iterações: Ajustes baseados em feedback técnico e pedagógico, buscando eficiência, durabilidade e impacto educativo.
- e) Concepção: Geração de soluções colaborativas para o design da estrutura, integração dos sensores e aplicação didática.

Elencamos, também, estratégias complementares na Fase de Design e Sustentabilidade

- a) Engenharia Sustentável e Prototipagem 3D:
 - Materiais: Preferência por insumos recicláveis. Está prevista, a longo prazo, a produção de filamentos PET a partir de garrafas plásticas.

- Modelagem CAD: Desenvolvimento virtual de peças e estrutura geral (via software como SketchUp).
- Montagem Modular: Impressão 3D de galhos e carenagens, facilitando substituições.
- Integração de Sensores: Inclusão de módulos Arduino, com atenção à proteção ambiental e acessibilidade para manutenção educacional.
- b) Sustentabilidade e Economia Circular
 - Design para desmontagem e reuso: Peças projetadas para facilitar substituição e reaproveitamento.
 - Manutenção comunitária: Utilização de componentes de fácil acesso e custo reduzido.
 - Ciclo de vida planejado: Mapeamento completo dos materiais, da origem ao descarte, com foco em logística reversa e redução de resíduos.

Com essa abordagem, estimamos, um protótipo funcional e replicável, adaptado a ambientes escolares e insulares; engajamento comunitário no processo de construção, manutenção e uso educacional; formação de um espaço pedagógico interdisciplinar, que une ensino de ciências, tecnologia e sustentabilidade de forma prática e significativa.

Área de implantação e justificativa

A Ilha do Mel, situada no litoral do Paraná, na entrada da Baía de Paranaguá, é reconhecida nacionalmente por sua importância ecológica e potencial turístico. Com cerca de 25,8 km², mais de 90% de seu território é protegido por regimes de Estação Ecológica e Parque Estadual, reforçando seu valor para estudos de práticas sustentáveis e educação ambiental (Rodrigues e Armani, 2023).

Até a década de 1970, a economia local era baseada na pesca artesanal e na agricultura de subsistência. O turismo ganhou força com a abertura do acesso às praias, transformando o perfil socioeconômico da região. Hoje, a população fixa estimada é de 800 a 1.200 habitantes, podendo dobrar durante a alta temporada, quanto o consumo de energia e recursos aumenta consideravelmente (Rodrigues e Armani, 2023).

A escolha da Ilha como área piloto para a Eco-Árvore fundamenta-se em estudos baseados em dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que analisaram dez anos de dados, abrangendo o período de janeiro de 2008 a dezembro de 2017, onde confirmaram o potencial favorável para microgeração eólica. A instalação do projeto ocorrerá em local técnico ainda a ser definido, considerando critérios ambientais e logísticos (Rodrigues e Armani, 2023).

Finalizada a seção metodológica, abordamos a seguir a fundamentação teórica e suas implicações.

Fundamentação teórica

Nesta seção, apresentamos eixos centrais de fundamentação teórica que corroboram a Eco-Árvore.

Panorama das energias renováveis e não renováveis

As energias renováveis são fontes que se regeneram continuamente na natureza, como o sol e o vento, e se destacam por serem limpas e de baixa emissão de poluentes quando comparadas às fontes fósseis (Jesus, 2021; Marques, 2020). No entanto, sua implantação também pode gerar impactos socioambientais, que variam conforme a tecnologia e o contexto (Crisóstomo et al., 2022).

No projeto Eco-Árvore, as fontes exploradas são a energia solar — captada por módulos fotovoltaicos que convertem a luz do sol diretamente em eletricidade por efeito fotovoltaico (Castro, 2002; Brito et al., 2022) — e a energia eólica, gerada pela força do vento através de aerogeradores de eixo horizontal (HAWT) ou vertical (VAWT) (Fonseca, 2021).

Apesar das vantagens, a expansão dessas tecnologias exige atenção a impactos como a ocupação de grandes áreas para usinas solares e o risco de colisão de aves em turbinas (Oliveira et al., 2018). Assim, o uso consciente e o planejamento técnico são fundamentais para garantir uma matriz limpa, diversificada e minimamente impactante.

Educação ambiental e o desafio dos microplásticos

A poluição por plásticos e microplásticos (MPs) é um dos maiores desafios ambientais da atualidade. Os MPs, partículas com dimensões entre 1 µm e 5 mm, podem ser produzidos intencionalmente — como microesferas em cosméticos — ou resultar da fragmentação de plásticos maiores, como embalagens, pneus e materiais de uso único (Montagner et al., 2021). O Brasil é o quarto maior gerador de resíduo plástico do mundo, com cerca de 11 milhões de toneladas ao ano, mas apenas 1,28% desse volume tem destinação para reciclagem, o que agrava o problema do descarte inadequado que atinge rios, oceanos e praias. Além disso, 50% do esgoto bruto no país é lançado diretamente nos rios, contribuindo para o aporte de MPs no ambiente aquático. A areia de praia, por sua facilidade de amostragem, é atualmente a matriz mais estudada no Brasil para a detecção de MPs. Essa realidade revela a importância de reforçar práticas de reciclagem e reutilização de materiais como soluções para mitigar os impactos da poluição plástica e para lidar com o fim da vida útil de equipamentos, como aerogeradores. (Montagner et al., 2021)

Essas partículas, além de degradarem ecossistemas, funcionam como vetores de substâncias tóxicas e podem entrar na cadeia alimentar humana por ingestão de alimentos contaminados ou até mesmo por inalação.

Assim, a educação ambiental torna-se ferramenta fundamental para conscientizar a sociedade sobre o consumo responsável de plásticos, práticas de reciclagem e descarte correto, reforçando a importância de políticas públicas e ações educativas para combater a poluição por MPs (UNEP, 2021).

Impressão 3D sustentável e o reaproveitamento de plástico

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, tem se consolidado como uma tecnologia estratégica não apenas para a prototipagem rápida, mas também para a promoção de práticas sustentáveis na indústria e na educação. Em sintonia com os princípios da economia circular, a transformação de resíduos plásticos em filamentos para impressão 3D apresenta-se como alternativa viável para reduzir o consumo de matéria-prima virgem, minimizar impactos ambientais e ampliar o ciclo de vida dos materiais (Somenzi e Filipetto, 2023).

O processo de produção de filamentos reciclados envolve etapas fundamentais: coleta e separação dos resíduos plásticos por tipo de polímero; trituração e lavagem, a fim de remover contaminantes como rótulos e adesivos; derretimento e extrusão em bicos aquecidos, que moldam o material em fios contínuos; e, por fim, o resfriamento e bobinagem do filamento. Apesar de desafios relacionados à heterogeneidade dos resíduos e à variação de propriedades mecânicas, avanços tecnológicos têm permitido o aperfeiçoamento da qualidade dos filamentos reciclados, tornando-os comparáveis aos materiais comerciais em muitos contextos de uso (Somenzi e Filipetto, 2023).

Diversos polímeros podem ser reaproveitados nesse processo. O PLA, oriundo de fontes renováveis como o milho e a cana-de-açúcar, destaca-se por ser biodegradável e de fácil processamento. O ABS, embora derivado do petróleo, oferece alta resistência mecânica, sendo indicado para peças funcionais, mas exige maior controle por liberar fumaças tóxicas na extrusão. Já o PETG, uma variação do PET amplamente utilizado em embalagens, combina resistência química e mecânica, além de boa adesão entre camadas, sendo uma das opções mais promissoras para projetos de filamentos reciclados. Entre eles, o PET reciclado a partir de garrafas descartadas ganha relevância por sua abundância no meio urbano e elevado potencial de revalorização (Somenzi e Filipetto, 2023).

Os benefícios do uso de filamentos reciclados são múltiplos. Do ponto de vista ambiental, essa prática contribui para a redução do volume de resíduos plásticos destinados a aterros e para a mitigação da poluição em ecossistemas terrestres e marinhos. Do ponto de vista energético, demanda menos recursos naturais e reduz a pegada de carbono em comparação à produção de plásticos virgens. Além disso, promove vantagens econômicas, uma vez que o filamento reciclado pode ser obtido a custos inferiores, tornando a impressão 3D mais acessível a escolas, laboratórios comunitários e pequenas indústrias (Somenzi e Filipetto, 2023).

No entanto, alguns desafios permanecem. A variação dimensional do filamento, a presença de contaminantes e a perda parcial de propriedades mecânicas podem comprometer a confiabilidade das peças impressas. Ajustes de parâmetros de extrusão, melhorias no controle de temperatura e sistemas de detecção de inconsistências são medidas essenciais para garantir a qualidade do material. Apesar dessas limitações, estudos recentes demonstram que os filamentos reciclados são plenamente utilizáveis em contextos educacionais e em protótipos funcionais,

ampliando as possibilidades de ensino e inovação tecnológica (Somenzi e Filipetto, 2023).

A adoção da impressão 3D com filamentos reciclados reforça a integração entre educação ambiental, inovação e cidadania energética. No contexto do projeto Eco-Árvore, essa prática amplia a dimensão pedagógica, ao permitir que estudantes participem do ciclo completo de reaproveitamento de resíduos — desde a coleta de plásticos até a fabricação de peças para o protótipo. Essa vivência prática aproxima conceitos de sustentabilidade, ciência e tecnologia, fortalecendo competências previstas na BNCC, como cultura digital, pensamento crítico e responsabilidade socioambiental (Somenzi e Filipetto, 2023).

Por fim, destaca-se que a impressão 3D com materiais reciclados conecta-se diretamente a diferentes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: o ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), ao fomentar soluções tecnológicas acessíveis e sustentáveis; o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), ao promover a logística reversa e a economia circular; além de reforçar os ODS 4 (Educação de Qualidade) e 7 (Energia Limpa e Acessível), já contemplados no escopo do projeto. Dessa forma, a prática não apenas contribui para a redução da poluição plástica, mas também fortalece uma abordagem interdisciplinar voltada à construção de sociedades mais justas e ambientalmente responsáveis.

Alinhamento com a Base Nacional Comum Curricular

A proposta da Eco-Árvore integra tecnologias limpas e conceitos de Física e Meio Ambiente, alinhando-se à Base Nacional Comum Curricular, que defende o desenvolvimento de competências como autonomia, responsabilidade socioambiental, cultura digital e tomada de decisão fundamentada em princípios éticos e sustentáveis (Brasil, 2018). Segundo a BNCC, é essencial que os estudantes desenvolvam também resiliência e senso de cidadania, construindo uma sociedade mais justa e solidária (Brasil, 2018).

A metodologia se apoia em estratégias de aprendizagem significativa, resolução de problemas e uso de minicasos, aproximando teoria e prática e estimulando o protagonismo juvenil no contexto escolar (Neto e Manguiera, 2024; Paiva e Furtado, 2023). Por meio da construção do protótipo, os alunos vivenciam na prática conceitos de Ciências da Natureza, Computação, Sustentabilidade e

Cidadania Energética, fortalecendo a interdisciplinaridade e o letramento tecnológico, em sintonia com as diretrizes de Educação para o Desenvolvimento Sustentável, que, segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, deve capacitar as pessoas a agirem de forma consciente e responsável diante dos desafios contemporâneos (UNESCO, 2017). Nesse contexto, a plataforma Arduino se destaca como ambiente integrador que promove criatividade, inovação e a resolução de problemas reais, permitindo a conexão de sensores e atuadores por meio de uma programação simplificada (Paiva e Furtado, 2023).

Essa aplicação prática fomenta habilidades STEM, pensamento crítico, colaboração e protagonismo estudantil, conectando conteúdos curriculares a desafios reais. Os dados coletados podem alimentar projetos de iniciação científica, feiras de ciências e relatórios de campo, fortalecendo a cultura maker e a autonomia do estudante.

O uso do Arduino em escolas contribui diretamente para a educação ambiental e o estímulo à sustentabilidade, reforçando o protagonismo estudantil no desenvolvimento de soluções tecnológicas de baixo impacto (Paiva e Furtado, 2023).

Igualmente, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente destaca que a combinação entre políticas públicas e ações educativas é fundamental para reduzir o uso de plásticos descartáveis e combater a poluição causada por resíduos e microplásticos, enfatizando a relevância de campanhas de conscientização e educação ambiental (UNEP, 2021). Montagner et al. (2021) destacam que a educação ambiental deve ser fortalecida nas escolas por meio de práticas pedagógicas interdisciplinares, com foco na conscientização sobre os impactos do plástico na saúde humana e no meio ambiente.

Princípios da economia circular

Em resposta à intensificação das crises ambientais, ao esgotamento de recursos naturais e à crescente geração de resíduos, especialmente a poluição por microplásticos, o projeto Eco-Árvore adota os princípios da economia circular como uma alternativa robusta ao modelo linear de produção-consumo-descarte (Silva et al., 2021). Este modelo linear, predominante na indústria global, tem levado à degradação ambiental e ao esgotamento de recursos. A economia circular, por outro lado, busca

um desenvolvimento sustentável integrado, promovendo a qualidade ambiental, a prosperidade social e o bem-estar econômico (Braungart e McDonough, 2019).

A estrutura da Eco-Árvore será parcialmente confeccionada via impressão 3D, com uma perspectiva inovadora de utilizar filamentos produzidos a partir de garrafas PET recicladas. Essa abordagem não apenas reforça o ciclo contínuo de redução, reaproveitamento e revalorização de materiais, mas também estimula a comunidade a refletir sobre o consumo e o descarte de forma mais consciente (Somenzi e Filipetto, 2023).

Além da implementação prática, painéis educativos e atividades práticas farão parte da proposta pedagógica, explicando o ciclo de vida dos produtos, compostagem, separação de resíduos e alternativas ao uso de descartáveis. Tal proposta transformará o ambiente em um espaço vivo de aprendizagem, alinhando-se à Educação Ambiental que enfatiza a conscientização sobre os impactos dos microplásticos na saúde humana e no meio ambiente. A Eco-Árvore, portanto, não é apenas uma solução técnica, mas um recurso didático estratégico para promover a compreensão da economia circular e uma cultura científica e de responsabilidade socioambiental nas escolas.

Conexão com comunidade, ODS e replicabilidade

Além de ser uma solução técnica, a Eco-Árvore atua como um núcleo educacional replicável, integrando educação, pesquisa e extensão em diálogo com a comunidade. Ao aproximar escolas públicas de tecnologias renováveis, o projeto contribui diretamente para o alcance das ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 7 (Energia Limpa) e ODS 12 (Consumo Sustentável) (Fonseca, 2021).

Sua modularidade permite que o modelo seja adaptado para outras regiões, incentivando a cidadania energética e a construção coletiva de soluções para problemas locais. A abordagem multidisciplinar envolvendo diversas áreas do conhecimento estimula a criatividade e a inovação na educação, enquanto a extensão e a pesquisa podem ajudar a superar as barreiras de acesso aos recursos (Paiva e Furtado, 2023).

O Potencial Educacional do Microcontrolador Arduino

Para aprofundar o aprendizado e desenvolver habilidades práticas, a integração de tecnologias como o microcontrolador Arduino é relevante. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, amplamente utilizada em projetos pedagógicos por sua versatilidade e baixo custo. Sua aplicação no projeto Eco-Árvore é estratégica para o desenvolvimento e controle de processos, permitindo a criação de projetos interativos (Paiva e Furtado, 2023). Sua utilização oferece múltiplos benefícios educacionais:

O Arduino permite que os alunos aprendam os fundamentos da programação de forma prática e aplicada, construindo uma base tecnológica sólida (Neto e Manguiera, 2024).

Ao trabalhar com Arduino, os estudantes são incentivados a criar e inovar, transformando ideias em protótipos funcionais (Neto e Manguiera, 2024).

Na construção da Eco-Árvore, o Arduino será fundamental no gerenciamento de miniestações de controle, sensores de presença, luzes de LED e na aferição de dados ambientais como umidade, velocidade do vento e temperatura do ar. Isso proporciona uma experiência prática e enriquecedora, integrando disciplinas como Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) (Paiva e Furtado, 2023).

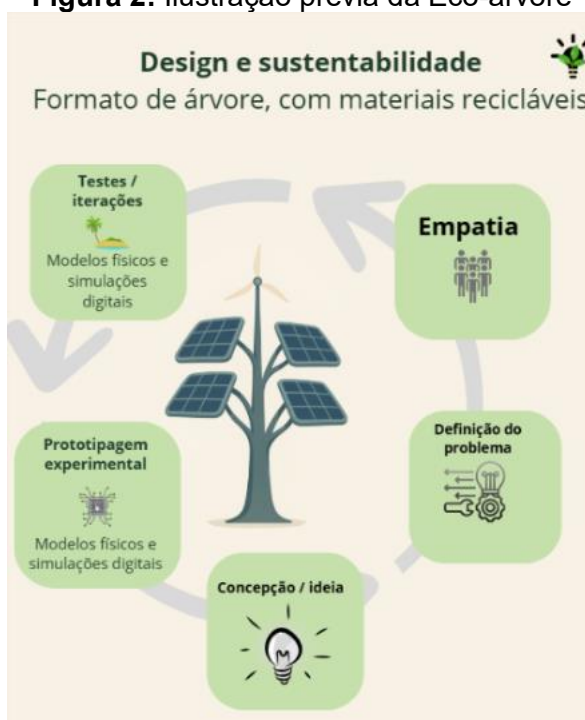
Projetos com Arduino desenvolvem o pensamento crítico, a resolução de problemas, o trabalho em equipe e a tomada de decisões (Paiva e Furtado, 2023).

A Eco-Árvore

A estrutura central da Eco-Árvore, inicialmente prevista em haste tubular metálica, poderá futuramente ser confeccionada integralmente por meio de impressão 3D, utilizando filamentos produzidos a partir de resíduos plásticos reciclados. Como discutido no tópico “*Impressão 3D sustentável e o reaproveitamento de plástico*”, diferentes polímeros podem ser empregados de forma isolada ou combinada, cada qual apresentando propriedades específicas de resistência, durabilidade e maleabilidade. Ainda não foram realizados estudos experimentais para determinar a viabilidade estrutural desses materiais em escala de sustentação, mas há a intenção de conduzir análises que avaliem sua aplicabilidade na construção da Eco-Árvore (Somenzi e Filipetto, 2023).

Caso os filamentos reciclados não apresentem desempenho mecânico suficiente para suportar toda a estrutura, a alternativa será adotar soluções híbridas, nas quais a impressão 3D será aplicada em componentes não estruturais — como carenagens, galhos e elementos modulares — sem comprometer a resistência global ou a eficiência energética do sistema. Ressalta-se, ainda, o interesse específico no uso de filamentos derivados de garrafas PET, dada sua ampla disponibilidade e relevância ambiental no contexto da reciclagem e da economia circular (Somenzi e Filipetto, 2023). Abaixo apresentamos uma figura representativa da Eco-Árvore – Figura 2.

Figura 2: Ilustração prévia da Eco-árvore



Fonte: Autoria própria

O sistema fotovoltaico do projeto ECO-ÁRVORE será composto por módulos dispostos radialmente na copa metálica, estratégia que visa otimizar a captação de radiação solar ao longo do dia e, simultaneamente, fornecer sombra à área de convivência na base da estrutura. Para a configuração dos módulos, consideram-se diferentes tecnologias de células fotovoltaicas, majoritariamente à base de silício, que podem ser do tipo monocristalino, policristalino ou amorfo, cada uma com características próprias de rendimento, pureza e custo de fabricação (Matavelli, 2013).

As células de silício monocristalino apresentam rendimento médio superior, com eficiências que variam de 15% a 18%, graças à estrutura de cristal único, que garante maior pureza eletrônica. Já as células policristalinas, formadas por múltiplos cristais, oferecem rendimento intermediário, com eficiências entre 12% e 15%, sendo mais acessíveis economicamente. Por sua vez, as células de silício amorfo possuem estrutura não cristalina, permitindo maior flexibilidade de aplicação, mas apresentam rendimento inferior, em torno de 6% a 8%, além de maior degradação ao longo do tempo (Matavelli, 2013).

Além dos módulos em si, o sistema fotovoltaico depende de um conjunto de componentes denominado Balanço do Sistema (BoS), que integra estruturas de suporte, cabeamento elétrico, conectores, dispositivos de proteção e os controladores de tensão e corrente necessários para o gerenciamento seguro e eficiente da geração de energia (Matavelli, 2013). O circuito do BoS garante que a energia produzida pelas células fotovoltaicas, seja interligada em série e/ou paralelo, atenda às demandas de carregamento do banco de baterias e forneça energia de forma estável aos demais sistemas integrados, como pontos de recarga, iluminação e sensores automatizados.

O dimensionamento final do sistema considerará a combinação mais vantajosa entre tipo de célula, área ativa instalada, tempo de insolação local e demanda energética estimada, assegurando viabilidade técnica, eficiência energética e alinhamento com os princípios de sustentabilidade que norteiam a proposta.

Para garantir continuidade no fornecimento de energia, especialmente em condições de baixa insolação, será implementada uma turbina eólica de eixo horizontal (HAWT), reconhecida por sua eficiência na conversão da energia cinética do vento em energia elétrica (Fonseca, 2021; Lopes, Lopes e Campos, 2020). A turbina contará com rotor, pás aerodinâmicas, cubo de fixação, nacelle com o gerador elétrico e caixa de engrenagens, eixo de baixa velocidade e sistemas de orientação (cata-vento, yaw drive e yaw motor), permitindo o alinhamento automático da turbina conforme a direção dos ventos (Fonseca, 2021; Lopes, Lopes e Campos, 2020). Um travão de segurança garantirá o desligamento automático em caso de ventos excessivos, prevenindo sobrecargas mecânicas e elétricas (Lopes, Lopes e Campos, 2020).

A opção pela turbina de eixo horizontal fundamenta-se em critérios de eficiência energética, viabilidade técnica e potencial pedagógico. Esse tipo de aerogerador apresenta, comprovadamente, maior rendimento na conversão da

energia cinética dos ventos em energia elétrica, quando comparado aos modelos de eixo vertical (Lopes, Lopes e Campos, 2020). Além disso, sua geometria favorece o aproveitamento dos ventos predominantes na região da Ilha do Mel, contribuindo para a estabilidade e eficiência do sistema (Rodrigues e Armani, 2023). Outro fator determinante é a compatibilidade estrutural e funcional com sistemas híbridos de microgeração, como o fotovoltaico, adotado no presente projeto. A integração entre as fontes permite o balanceamento da geração conforme a disponibilidade dos recursos naturais (vento e radiação solar), assegurando maior autonomia energética ao sistema (Fonseca, 2021).

Do ponto de vista educacional, a escolha pelo modelo de eixo horizontal amplia as possibilidades de exploração didática, ao permitir a visualização e experimentação de conceitos fundamentais da Física, como torque, momento angular, rotação, aerodinâmica e conversão de energia mecânica em elétrica (Fonseca, 2021; Lopes, Lopes e Campos, 2020). Sua estrutura também favorece a montagem modular e a demonstração prática dos processos envolvidos na geração de energia renovável, tornando-se, assim, uma ferramenta pedagógica valiosa para o ensino interdisciplinar (Crisóstomo et al., 2022).

A integração entre o sistema solar e o eólico será controlada por um controlador de carga híbrido MPPT (Rastreador de Ponto de Potência Máxima) de 24V/45A, responsável por ajustar a tensão e garantir a operação no ponto ótimo de cada fonte, maximizando a potência extraída em diferentes condições climáticas (Castro, 2002). A energia será armazenada em um banco de baterias estacionárias chumbo-ácido de 12V, com descarga máxima de 20% e capacidade calculada para garantir autonomia de até dois dias sem geração (Oliveira et al., 2018).

As funções do Controlador MPPT consistem em: Otimização da potência gerada pelos painéis fotovoltaicos e turbina eólica; Regulação do fluxo de energia entre as fontes geradoras e o banco de baterias; Proteção contra sobrecarga, subtensão e descarga profunda; Monitoramento dinâmico da irradiação solar e velocidade dos ventos; Eficiência média superior a 95%, conforme especificações técnicas (Castro, 2002).

Um diferencial da Eco-Árvore é a estação meteorológica embarcada, equipada com sensores: anemômetro para velocidade do vento, wind vane para direção, sensor de radiação solar (BH1750), sensor de temperatura e umidade do ar (DHT22), sensor de pressão atmosférica (BME280), sensor de chuva (HW-028) e

módulo RTC DS1307 para registro temporal de leituras. Esses dados, processados por um Arduino UNO, permitirão acionar ou desligar automaticamente o gerador eólico conforme a velocidade do vento e ajustar o funcionamento das placas solares para operar somente sob radiação solar mínima adequada, aumentando a eficiência do sistema (Castro, 2002). O módulo relé automatizará comandos como ativação de freios ou corte de carga, enquanto um módulo ESP-01 (Wi-Fi) transmitirá as informações para monitoramento remoto em tempo real.

A base da Eco-Árvore contará ainda com sistema de iluminação composto por luminárias LED com sensores de presença, que se ativarão automaticamente em horários noturnos, otimizando o consumo energético. Todo o conjunto obedecerá às normas técnicas como a ABNT NBR IEC 62116:2012, além de contar com dispositivos de proteção, disjuntores CC e CA, fusíveis, aterramento e sinalização de segurança (Crisóstomo et al., 2022). As exigências normativas, como as definidas nas normas ABNT NBR 5410, NBR 5419, NBR 16690 e DIS-NOR-031, serão atendidas. As principais normas técnicas seguidas no projeto incluem:

- ABNT NBR 5410 (instalações elétricas de baixa tensão);
- ABNT NBR 5419 (proteção de estruturas contra descargas atmosféricas);
- ABNT NBR 16690 (requisitos para sistemas fotovoltaicos conectados à rede);
- ABNT NBR IEC 62116:2012 (procedimentos de teste para proteção anti-ilhamento em inversores);
- DIS-NOR-031 (conexão de microgeração à rede de distribuição).

Além disso, todos os equipamentos elétricos utilizados possuirão certificações específicas de desempenho e segurança, como IEC 61215 (desempenho de módulos fotovoltaicos), IEC 61730 (segurança de módulos fotovoltaicos) e o Selo Procel, garantindo a eficiência energética dos componentes.

Serão fixadas placas de advertência com os seguintes dizeres: "CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA"

Essa sinalização segue as exigências da norma ABNT NBR 16690, contribuindo para a educação e segurança dos usuários.

Além da concepção da estrutura final, a Eco-Árvore para fins didáticos. Considerando a ausência, no momento, de uma extrusora para produção de

filamentos reciclados, optou-se por uma abordagem alternativa para a representação inicial. Assim, a maquete será construída manualmente utilizando argila, que permitirá a formação da base estrutural, e papel machê, técnica artesanal que possibilitará o detalhamento dos elementos da árvore, como tronco, galhos e copa, de forma leve e de fácil manipulação.

Essa solução artesanal viabiliza a prototipagem sem comprometer o caráter educativo e demonstra, de forma prática, a integração entre sustentabilidade, reaproveitamento de materiais e criatividade na engenharia.

Esse processo de prototipagem é fundamental para validar a comunicação entre os sensores, o microcontrolador e o sistema de automação, servindo de base para as aulas práticas previstas. Além disso, reforça a proposta pedagógica de utilizar materiais de baixo custo, reaproveitados ou recicláveis, incentivando os estudantes a compreenderem a relação entre tecnologia, sustentabilidade e inovação desde as etapas iniciais do desenvolvimento tecnológico.

Além da implementação da Eco-Árvore, será desenvolvido um conjunto de aulas teóricas e práticas, planejadas para o segundo semestre de 2025 e executadas no primeiro semestre de 2026. Essas atividades têm como foco a integração de conteúdos de ciências ambientais, geração de energia renovável e prototipagem eletrônica, com o uso do Arduino como principal ferramenta pedagógica (Paiva e Furtado, 2023; Neto e Manguiera, 2024). A proposta didática fundamenta-se em metodologias ativas de aprendizagem, com ênfase na interdisciplinaridade e na aprendizagem significativa (Mercado, 2017), por meio da abordagem de minicasos e da resolução de problemas contextualizados à realidade local (UNESCO, 2019).

Cada encontro abordará temáticas como microplásticos, energias renováveis, gestão de resíduos sólidos, evapotranspiração e mudanças climáticas (Montagner et al., 2021). As aulas serão estruturadas com os seguintes componentes:

Exposição dialogada de conteúdos com recursos visuais e infográficos;

Discussão de minicasos contextualizados às problemáticas ambientais contemporâneas;

Resolução de problemas técnico-ambientais;

Aplicação de instrumentos avaliativos com questões objetivas, situações-problema e reflexões abertas;

Atividades práticas com sensores ambientais integrados ao Arduino (DHT22, anemômetro, wind vane, MQ-135, BH1750), permitindo a coleta, análise e interpretação de dados reais em simulações ambientais (Paiva e Furtado, 2023).

No que se refere ao monitoramento e avaliação, os instrumentos aplicados buscarão, além da verificação de competências técnicas, investigar a percepção dos estudantes quanto às escolhas acadêmicas, interesses em cursos superiores e atitudes sustentáveis. Ao final do semestre letivo, será aplicado novo instrumento avaliativo com foco na identificação de mudanças de opinião, raciocínio ético e capacidade de tomada de decisão frente a situações-problema (Lopes, Lopes e Campos, 2020). Essa abordagem visa articular teoria e prática, estimular o protagonismo juvenil e reforçar o papel da educação como agente de transformação socioambiental (UNESCO, 2019; UNEP, 2021).

O objetivo formativo da proposta consiste em promover o desenvolvimento de competências técnico-científicas associadas ao pensamento crítico, à cidadania e à capacidade de propor soluções locais para desafios ambientais. Busca-se, ainda, estimular o protagonismo juvenil e o desenvolvimento de habilidades em STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), por meio de experiências educativas significativas no território da Ilha do Mel.

Considerações finais

A Eco-Árvore representa um esforço interdisciplinar inovador para integrar educação ambiental, tecnologias sustentáveis e pensamento crítico no ambiente escolar. Ao propor uma estrutura que une geração híbrida de energia (solar e eólica), sensores automatizados via Arduino e princípios da economia circular, ela se configura como um recurso didático transformador.

Mesmo diante de limitações materiais e estruturais os avanços obtidos até aqui demonstram o potencial da iniciativa para promover aprendizagens significativas. A prototipagem artesanal, os testes com sensores e a construção de planos de aula já indicam impactos positivos na formação de estudantes mais engajados, críticos e conscientes dos desafios ambientais contemporâneos.

A metodologia adotada, baseada em Design Thinking e pesquisa-ação, favorece a autonomia estudantil, a resolução de problemas e a interdisciplinaridade, alinhando-se às diretrizes da BNCC e da EDS. A Eco-Árvore não é apenas uma

estrutura física, mas “um” símbolo inovação e compromisso com uma educação contextualizada e voltada à construção de futuros mais competitivos e sustentáveis.

A continuidade do projeto, com a aplicação pedagógica prevista para 2026, deverá reforçar a formação de cidadãos capazes de aliar ciência, tecnologia e responsabilidade ambiental, promovendo uma cultura de inovação consciente nas escolas de Educação Básica.

Referências

- ALVES, M. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. João Monlevade: [s.n.], 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 21 ago. 2025.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle to Cradle: criar e reciclar ilimitadamente**. São Paulo: Gustavo Gili, 2019. Acesso em: 9 jul. 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Acesso em: 9 jul. 2025.
- BRITO, F.; MOREIRA, M.; PINTO, A.; NETO, S.; HUZIWARA, E. **Energia termosolar: uma revisão de literatura**. Campos dos Goytacazes: Essentia, v.16, n.1, p.138-160, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366890531_Energia_termosolar_uma_revisao_de_literatura. Acesso em: 23 mai. 2025.
- CASTRO, R. **Introdução à energia fotovoltaica**. [s.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <https://silو.tips/download/introducao-a-energia-fotovoltaica>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- COUTINHO, C. **Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: teoria e prática**. 2. ed. Coimbra: Almedina, 2023. 421 p. ISBN 978-9724051376. Acesso em: 9 jul. 2025.
- CRISÓSTOMO, D.; SILVA, I.; VIEIRA, R.; MOURA, A. **Árvore solar fotovoltaica: uma proposta técnica para implantação em ambientes públicos na cidade de Mossoró - RN**. Mossoró: Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, v.4, n.2, p.19-28, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em/article/view/11500>. Acesso em: 19 abr. 2025.
- FILHO, L.; CREMASCO, C.; SERAPHIM, O. **Análise diferencial da potência máxima gerada por um sistema solar fotovoltaico**. Botucatu: Energia da Agricultura, v.25, n.2, p.123-138, 2010. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/60>. Acesso em: 23 mai. 2025.

FONSECA, A. **Estudo das tecnologias de geradores eólicos em um comparativo Brasil-Portugal**. [s.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/395152989.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2025.

JESUS, F. **Impactos ambientais causados pelo uso das energias renováveis**. [S.l.]: Portal Energia, 2021. Disponível em: https://www.portal-energia.com/impactos-ambientais-energias-renovaveis/#google_vignette. Acesso em: 29 mai. 2025.

LOPES, D.; LOPES, A.; CAMPOS, L. **Tecnologias de aerogeradores aplicados em sistemas de geração de energia eolioelétrica**. Rio de Janeiro: Projectus, v.5, n.2, p.36-47, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/356120060_TECNOLOGIAS_DE_AEROG_ERADORES_APLICADOS_EM_SISTEMAS_DE_GERACAO_DE_ENERGIA_EOLIO_ELETRICA. Acesso em: 13 jul. 2025.

MARQUES, V. **Fontes de Energia: o que são e seus tipos (renováveis e não renováveis)**. [S.l.]: Toda Matéria, 2024. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/fontes-de-energia/>. Acesso em: 29 mai. 2025.

MATAVELLI, A. **Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas**. Lorena: [s.n.], 2013. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2013/MEQ13015.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

MONTAGNER, C.; DIAS, M.; PAIVA, E.; VIDAL, C. **Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos**. Campinas: Química Nova, v. 44, n.10, p.1328-1352, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/VJ58TBjHVqDZsvWLckcFbTQ/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

NETO, A.; MANGUEIRA, A. **Cultura maker, uso do microcontrolador Arduino**. João Pessoa: Práxis, v.12, n.24, p.87-96, ago. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383446041_CULTURA_MAKER_USO_DO_MICROCONTROLADOR_ARDUINO. Acesso em: 20 ago. 2025.

OLIVEIRA, E.; DAMAME, D.; OLIVEIRA, E.; LONGO, R. **Uso de árvores fotovoltaicas para geração de energia elétrica e sequestro de carbono**. Itapetininga: Hipótese, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331843444_USO_DE_ARVORES_FOTOVOLTAICAS_PARA_GERACAO_DE_ENERGIA_ELETRICA_E_SEQUESTRO_DE_CARBONO_PHOTOVOLTAIC_TREES_FOR_THE_GENERATION_OF_ELECTRICAL_ENERGY_AND_CARBON_SEQUESTRATION. Acesso em: 01 jul. 2025.

PAIVA, J.; FURTADO, A. **Explorando a sinergia entre biodigestores, Arduino e educação ambiental: uma revisão sistemática da literatura**. São José dos Pinhais: Contribuciones a Las Ciencias Sociales, v.16, n.9, p.17837-17850, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374252595_Explorando_a_sinergia_entre_biodigestores_arduino_e_educacao_ambiental_uma_revisao_sistematica_da_literatura. Acesso em: 20 ago. 2025.

MERCADO, L. **Estudo do meio presencial e on-line no ensino superior**. Rio de Janeiro: Boletim Técnico do Senac, v.43, n.3, p.42-63, 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalhes&source=all&id=W2782231177>. Acesso em: 19 ago. 2025.

RODRIGUES, H.; ARMANI, F. **Potencial de geração de energia elétrica por microgeradores eólicos no litoral do Paraná**. Pontal do Paraná: Técnico-Científica do CREA-PR, 2023. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/80156>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SILVA, T.; PONTES, A.; MUSETTI, M.; OMETTO, A. **Economia Circular: um panorama do estado da arte das políticas públicas no Brasil**. Florianópolis: Produção Online, v.21, n.3, p.951-972, 2021. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/2873229067?pq-origsite=primo&sourcetype=Scholarly%20Journals>. Acesso em: 20 ago. 2025.

SOMENZI, A.; FILIPETTO, L. **Utilização de filamento reciclado de garrafas PET em impressão 3D: uma aplicação do design Science research**. Rio Grande do Sul: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Bento Gonçalves, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifrs.edu.br/bitstream/handle/123456789/1621/1234567891621.pdf?sequence=1>. Acesso em: 6 set. 2025.

UNESCO. **ICT Competency Framework for Teachers**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2019. Acesso em: 9 jul. 2025.

UNEP. **Education for sustainable development policy brief**. [S.l.]: United Nations Environment Programme, 2021. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/socialperspectiveondevelopment/wp-content/uploads/sites/27/2021/08/UNEP-2021.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.