

Ensino superior híbrido internacional: inovação pedagógica com IoT e sustentabilidade em ecossistemas africanos

International hybrid higher education: pedagogical innovation with IoT and sustainability in african ecosystems

Educación superior híbrida internacional: innovación pedagógica con IoT y sostenibilidad en ecosistemas africanos

Nelson Neves¹

Justino Lourenço²

Resumo: Apresenta-se um estudo qualitativo, de natureza descritivo interpretativa, que analisa o ensino superior híbrido internacional como contexto específico de inovação pedagógica, tomando como estudo de caso a articulação entre um Blended Intensive Programme (BIP), o projeto AHUMAIN e um International Training Programme (ITP), desenvolvidos em parceria entre instituições europeias e africanas. O ecossistema formativo em análise combina fases virtuais e presenciais, equipas multiculturais e interdisciplinares e projetos baseados em desafios reais de monitorização ambiental e resiliência climática em ecossistemas africanos, recorrendo a tecnologias de Internet of Things (IoT) e smart monitoring. A produção de dados baseou-se em documentos institucionais e pedagógicos, descrições técnicas e relatórios de projetos de estudantes, analisados por meio de análise de conteúdo temática. Os resultados evidenciam que o ecossistema BIP–AHUMAIN–ITP configura contextos educativos expandidos, que ultrapassam a sala de aula ao articular universidade, comunidades locais e parceiros externos em torno de problemas de sustentabilidade, promovendo simultaneamente o desenvolvimento de competências técnicas, digitais e interculturais. Ao mesmo tempo, identificam-se limites relacionados com a dependência de financiamentos internacionais, assimetrias infraestruturais e desafios de continuidade e manutenção das soluções em contextos locais. Conclui-se que o ensino superior híbrido internacional, quando ancorado em projetos de IoT e sustentabilidade em África, constitui um espaço privilegiado de experimentação pedagógica e de formação para a cidadania global, embora permaneça atravessado por tensões que requerem acompanhamento e investigação continuada.

Palavras chave: Ecossistemas africanos. Educación superior híbrida internacional. Innovación pedagógica. Internet de las cosas. Sostenibilidad.

Abstract: This article presents a qualitative, descriptive interpretative study that examines international hybrid higher education as a specific context of pedagogical innovation, using as a case study the articulation between a Blended Intensive Programme (BIP), the AHUMAIN project and an International Training Programme (ITP), developed in partnership between European and African institutions. The learning ecosystem under analysis combines virtual and face to face phases, multicultural and interdisciplinary teams, and challenge based projects related to environmental monitoring and climate resilience in African ecosystems, supported by Internet of Things (IoT) and smart monitoring technologies. Data production drew on institutional and pedagogical documents, technical descriptions and student project reports, which were examined through thematic content analysis. The results show that the BIP–AHUMAIN–ITP ecosystem configures expanded educational contexts that go beyond the classroom by connecting universities, local communities and external partners around sustainability problems, while simultaneously fostering the development of technical, digital and intercultural competences. At the same time, limits are identified related to dependence on international funding, infrastructural asymmetries and challenges regarding the continuity and maintenance of solutions in local contexts. The study concludes that international hybrid higher education, when anchored in IoT and

1 Mestre em Engenharia Elétrica e Computação, Professor do Instituto Superior Politécnico Gaya (ISPGAYA), nneves@ispgaya.pt.

2 Mestre em Telecomunicações, Professor do Instituto Superior Politécnico Gaya (ISPGAYA), jml@ispgaya.pt.

sustainability projects in Africa, constitutes a privileged space for pedagogical experimentation and education for global citizenship, although it remains traversed by tensions that require ongoing monitoring and further research.

Keywords: African ecosystems. International hybrid higher education. Internet of things. pedagogical innovation. Sustainability.

Resumen: Se presenta un estudio cualitativo, de carácter descriptivo interpretativo, que analiza la educación superior híbrida internacional como un contexto específico de innovación pedagógica, tomando como estudio de caso la articulación entre un Blended Intensive Programme (BIP), el proyecto AHUMAIN y un International Training Programme (ITP), desarrollados en alianza entre instituciones europeas y africanas. El ecosistema formativo analizado combina fases virtuales y presenciales, equipos multiculturales e interdisciplinarios y proyectos basados en desafíos reales de monitoreo ambiental y resiliencia climática en ecosistemas africanos, apoyados en tecnologías de Internet of Things (IoT) y smart monitoring. La producción de datos se basó en documentos institucionales y pedagógicos, descripciones técnicas e informes de proyectos de estudiantes, analizados mediante análisis de contenido temático. Los resultados muestran que el ecosistema BIP–AHUMAIN–ITP configura contextos educativos expandidos que trascienden el aula al articular universidad, comunidades locales y socios externos en torno a problemas de sostenibilidad, promoviendo simultáneamente el desarrollo de competencias técnicas, digitales e interculturales. Al mismo tiempo, se identifican límites relacionados con la dependencia de financiamientos internacionales, asimetrías de infraestructura y desafíos de continuidad y mantenimiento de las soluciones en los contextos locales. Se concluye que la educación superior híbrida internacional, cuando se ancla en proyectos de IoT y sostenibilidad en África, constituye un espacio privilegiado de experimentación pedagógica y de formación para la ciudadanía global, aunque sigue atravesada por tensiones que requieren seguimiento e investigación continuada.

Palabras clave: Ecosistemas africanos. Educación superior híbrida internacional. Internet of things; smart monitoring; sostenibilidad; innovación pedagógica.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação das crises climáticas e ambientais coloca novas exigências ao ensino superior, que é chamado a formar profissionais capazes de atuar em contextos complexos, digitalizados e globalmente interdependentes (European Commission, 2025; Salam, 2019). Neste cenário, iniciativas que articulam tecnologias digitais, colaboração internacional e envolvimento com problemas reais emergem como contextos privilegiados de inovação pedagógica, sobretudo quando desenvolvidas em parceria com instituições e comunidades do Sul Global (Arvanitakis; Hornsby, 2016; López-Vargas *et al.*, 2021). A convergência entre educação, sustentabilidade e transformação digital torna-se, assim, um eixo estruturante para repensar currículos, metodologias e modos de relação entre universidade e sociedade (Ignacio Martínez *et al.*, 2021).

As experiências analisadas neste artigo resultam da articulação entre um Blended Intensive Programme (BIP), desenvolvido no âmbito do Erasmus+, o projeto AHUMAIN e um

International Training Programme (ITP), que, em conjunto, configuram um ecossistema de ensino superior híbrido internacional orientado para desafios de monitorização ambiental e resiliência climática em ecossistemas africanos. Este ecossistema combina fases virtuais e presenciais, mobilidade física e colaboração online, envolvendo estudantes e docentes de instituições europeias e africanas organizados em equipas multiculturais e interdisciplinares, que desenvolvem projetos em áreas como aquacultura, cultivo de algas, qualidade do ar urbano e agrivoltaica (Liu *et al.*, 2025; Ganancias *et al.*, 2024). Ao integrar diferentes iniciativas e contextos, o ecossistema BIP–AHUMAIN–ITP permite observar como o ensino superior pode articular internacionalização, inovação pedagógica e compromisso com a sustentabilidade em África.

Neste contexto, as tecnologias de Internet of Things (IoT) funcionam não apenas como infraestruturas técnicas, mas como dispositivos educativos que suportam experiências de aprendizagem baseadas em projetos, problemas e desafios socialmente relevantes (Ignacio

cio Martínez *et al.*, 2021; Zeeshan *et al.*, 2022). A recolha e análise de dados em tempo real, a conceção de protótipos e a interação com parceiros locais promovem o desenvolvimento articulado de competências técnicas, digitais, interculturais e de cidadania para a sustentabilidade, em coerência com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (LópezVargas *et al.*, 2021; Ziegler *et al.*, 2023). Em paralelo, a forte componente online e a cooperação transnacional contribuem para formas mais inclusivas de internacionalização, ao alargar o acesso a estudantes que, de outro modo, teriam maiores dificuldades em participar em experiências de mobilidade (Hockings, 2010; Gurin *et al.*, 2002).

Autores que discutem o futuro do ensino superior sublinham a necessidade de formatos curriculares mais flexíveis, colaborativos e orientados para problemas complexos, nos quais a universidade atue em estreita relação com a sociedade e com agendas globais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Arvanitakis; Hornsby, 2016; Ziegler *et al.*, 2023). Nesta perspetiva, o ensino superior híbrido internacional — que combina mobilidade física, colaboração online e projetos com parceiros externos — é entendido como um contexto de inovação pedagógica, favorecendo metodologias ativas, trabalho em equipa interdisciplinar e cocriação de soluções com comunidades locais (Martinez *et al.*, 2021; Vasconcelos, 2022). Contudo, a literatura permanece relativamente escassa quanto a estudos que articulem, de forma integrada, três dimensões: (i) uso de IoT e smart monitoring em problemas de sustentabilidade em ecossistemas africanos; (ii) modelos de ensino superior híbrido internacional, como os BIP e programas associados; e (iii) análise explícita desses arranjos como contextos educativos de inovação pedagógica.

Tendo em vista este cenário e este vazio específico na literatura, o artigo tem como objetivo analisar o ensino superior híbrido internacional como um contexto particular de inovação pedagógica, tomando como estudo de caso a articulação entre BIP, AHUMAIN e ITP em projetos de monitorização inteligente

e resiliência climática em ecossistemas africanos. Orientam a análise as seguintes questões de pesquisa: (i) de que modo o ecossistema híbrido internacional descrito contribui para o desenvolvimento de competências técnicas, digitais e interculturais dos estudantes?; (ii) como os contextos educativos criados articulam universidade, comunidades locais e desafios de sustentabilidade em África?; e (iii) que potencialidades e limites este modelo apresenta enquanto estratégia de inovação pedagógica em ensino superior, alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

2 THEORETICAL FOUNDATION: IOT, INTERNACIONALIZAÇÃO E INCLUSÃO DIGITAL NO ENSINO SUPERIOR HÍBRIDO

A literatura recente destaca que as tecnologias de smart monitoring, suportadas por redes de sensores e análise de dados em tempo real, têm assumido um papel central na gestão sustentável de recursos urbanos e ambientais (American Planning Association, 2015; Kitchin, 2014). A integração de sensores, plataformas de comunicação e infraestruturas de dados permite otimizar energia, água, mobilidade e uso do solo, contribuindo diretamente para cidades mais resilientes e inclusivas (Ignacio Martínez *et al.*, 2021; LópezVargas *et al.*, 2021). Em contextos de ensino superior, estes sistemas deixam de ser apenas ferramentas de engenharia para se transformarem em artefactos mediadores da aprendizagem, ao suportarem atividades de investigação aplicada, projetos interdisciplinares e o desenvolvimento de competências de análise crítica de dados.

No domínio da agricultura e da aquacultura, o uso de IoT tem sido apontado como catalisador de práticas mais eficientes e resilientes às alterações climáticas, seja pelo monitoramento de variáveis de solo, água e clima, seja pelo suporte a decisões em tempo real (Liu *et al.*, 2025; Singh *et al.*, 2024). Estudos em piscicultura e sistemas recirculantes, assim como em cultivo de algas, evidenciam ganhos significativos de produtividade e redução de riscos quando se combinam sen-

sores de baixo custo, comunicação sem fios e algoritmos de análise de dados (Hemal *et al.*, 2024; Ganancias *et al.*, 2024). Estes desenvolvimentos técnicos abrem espaço para ambientes de aprendizagem autênticos, nos quais estudantes podem conceber, programar e testar protótipos em cenários reais de produção de alimentos e gestão de recursos, aproximando a formação superior de problemas concretos de segurança alimentar e sustentabilidade.

Paralelamente, a literatura sobre internacionalização do ensino superior tem enfatizado o potencial de programas colaborativos transnacionais para o desenvolvimento de competências interculturais, de comunicação e de resolução conjunta de problemas (Thompson, 2006; Dusdal; Powell, 2021). Os Blended Intensive Programmes (BIP), no âmbito do Erasmus+, combinam mobilidade física de curta duração com fases extensas de colaboração virtual, ampliando a participação e promovendo formas mais inclusivas de internacionalização (European Commission, 2025; Erasmus Wiki, 2025). Em particular, a articulação entre atividades online e presenciais tem sido associada ao fortalecimento da autonomia dos estudantes, à construção de comunidades de prática internacionais e ao uso pedagógico de tecnologias digitais colaborativas (ISCTE, 2024; Klavina *et al.*, 2023).

A discussão sobre inclusão digital em contextos africanos aponta que o acesso a dispositivos, conectividade e literacia digital é condição necessária, mas não suficiente, para a participação qualificada na sociedade em rede (Hockings, 2010; Gurin *et al.*, 2002). Estudos sublinham a importância de modelos formativos que combinem blended learning, desenvolvimento de competências digitais e envolvimento em projetos com impacto comunitário, de forma a reduzir desigualdades e promover inovação local (Zeeshan *et al.*, 2022; Bustami; Suzanna, 2025). Nesse sentido, programas que integram IoT, sustentabilidade e colaboração internacional podem funcionar como contextos educativos privilegiados para a inclusão, ao aproximarem estudantes de diferentes origens de desafios partilhados,

mediados por tecnologias acessíveis e por parcerias com comunidades africanas.

Autores que discutem o futuro do ensino superior defendem, de forma convergente, a necessidade de formatos curriculares mais flexíveis, colaborativos e orientados para problemas complexos, nos quais a universidade atue em estreita relação com a sociedade e com agendas globais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Arvanitakis; Hornsby, 2016; Ziegler *et al.*, 2023). Nesta perspetiva, o ensino superior híbrido internacional — que combina mobilidade física, colaboração online e projetos com parceiros externos — é entendido como um contexto de inovação pedagógica, favorecendo metodologias ativas, trabalho em equipa interdisciplinar e cocriação de soluções com comunidades locais (Martinez *et al.*, 2021; Vasconcelos, 2022). Contudo, a literatura ainda é relativamente escassa no que respeita a estudos que articulem, de forma integrada, três dimensões: (i) uso de IoT e smart monitoring em problemas de sustentabilidade em ecossistemas africanos; (ii) modelos de ensino superior híbrido internacional como os BIP e programas associados; e (iii) análise explícita desses arranjos como contextos educativos de inovação pedagógica. O presente artigo procura contribuir para esse debate, ao explorar a articulação entre BIP, AHUMAIN e ITP como estudo de caso de um ecossistema híbrido internacional orientado para a sustentabilidade em África.

3 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa, de natureza descritivo-interpretativa, organizada sob a forma de estudo de caso múltiplo (Yin, 2015). O foco recai sobre a articulação entre três iniciativas de ensino superior híbrido internacional — o Blended Intensive Programme (BIP), o projeto AHUMAIN e o International Training Programme (ITP) — entendidas, em conjunto, como um ecossistema formativo que integra componentes virtuais e presenciais, projetos baseados em desafios e colaboração transnacional entre instituições de ensino superior europeias e africanas.

3.1. CONTEXTO E PARTICIPANTES

O contexto empírico do estudo abrange o BIP desenvolvido no âmbito do Erasmus+, envolvendo instituições da Bélgica, Portugal, Grécia, Uganda e Tanzânia, em articulação com o AHUMAIN e com o ITP sediado em Zanzibar. Participam no ecossistema estudantes de cursos de tecnologias de informação e eletrónica, bem como docentes, investigadores, técnicos e representantes de entidades parceiras (empresas, ONGs, autoridades locais),

ligados a projetos de monitorização ambiental e resiliência climática. A diversidade geográfica e disciplinar é assumida como elemento constitutivo do contexto educativo em análise, influenciando a dinâmica de colaboração e a configuração das experiências de aprendizagem.

A Tabela 1 sintetiza as principais características das iniciativas e casos considerados, incluindo o tipo de contexto educativo, a modalidade (online/presencial) e o foco principal de aprendizagem em cada caso.

Tabela 1 – Síntese das iniciativas e casos analisados

Iniciativa / caso	Tipo de contexto educativo	Modalidade (online/presencial)	Foco principal de aprendizagem
BIP Erasmus+	Ensino superior híbrido internacional; equipas multiculturais	Online + semana presencial	Metodologias ativas, gestão ágil de projetos, trabalho em equipa
AHUMAIN	Formação avançada em IA e ciência de dados em contextos africanos	Predominantemente online	IA, ciência de dados, inovação em contextos africanos
ITP (Zanzibar)	Hub de inovação e incubação em ambiente universitário-comunitário	Presencial + componentes digitais	Empreendedorismo, incubação de soluções digitais sustentáveis
Aquacultura (Uganda)	Contexto comunitário/profissional de pequena produção de peixe	Campo + acompanhamento remoto	Monitorização da qualidade da água com IoT, segurança alimentar
Algas (Zanzibar)	Contexto comunitário com forte participação de mulheres	Campo + recolha de dados com IoT	Monitorização de salinidade e temperatura, resiliência económica
Qualidade do ar (Dar es Salaam)	Contexto urbano e de políticas públicas	Campo + dashboards em nuvem	Qualidade do ar, saúde pública, uso de dados em decisões

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de documentos dos projetos BIP, AHUMAIN e ITP (2025).

3.2. FONTES E PROCEDIMENTOS DE RECOLHA DE DADOS

A produção de dados apoiase predominantemente em fontes documentais, complementadas por registos produzidos no âmbito dos próprios programas. Foram considerados:

documentos institucionais e pedagógicos do BIP, incluindo planos de ensino, descrições de objetivos de aprendizagem, critérios de avaliação, cronogramas das fases online e presencial e guias de projetos;

descrições técnicas e pedagógicas dos projetos AHUMAIN e ITP, com destaque para a sua

missão formativa, estrutura de atividades e articulação com contextos locais africanos;

descrições e relatórios de projetos desenvolvidos pelos estudantes, relativos aos casos de aquacultura, cultivo de algas, monitorização da qualidade do ar e agrivoltaica, incluindo esquemas de arquitetura IoT, narrativas de implementação e sínteses de resultados.

Sempre que possível, foram ainda considerados registos de apresentações finais, materiais de divulgação e outros artefactos produzidos no âmbito das atividades (por exemplo, diagramas de sistemas, cronogramas, mapas de stakeholders), que contribuem para caracterizar o desenho pedagógico e os contextos educativos.

3.3. ESTRATÉGIA DE ANÁLISE

A análise dos dados seguiu uma lógica de análise de conteúdo temática (BARDIN, 2011), com categorias definidas a partir do quadro teórico e das questões de pesquisa. Numa primeira etapa, procedeu-se à leitura flutuante e à sistematização dos documentos em função das três iniciativas (BIP, AHUMAN, ITP) e dos casos de aplicação (aquacultura, algas, qualidade do ar, agrivoltaica). Em seguida, foram construídas categorias analíticas relacionadas com: (i) configuração dos contextos educativos híbridos internacionais; (ii) estratégias pedagógicas e dispositivos de mediação (metodologias ativas, trabalho por projetos, uso de IoT como recurso educativo); e (iii) evidências de desenvolvimento de competências e de articulação com desafios de sustentabilidade em ecossistemas africanos.

A codificação dos excertos foi realizada manualmente, com organização em matrizes que cruzam iniciativas, tipos de atividade (online/presencial) e dimensões analíticas, permitindo comparar padrões entre contextos e identificar convergências e especificidades. A interpretação dos resultados foi orientada pelas questões de pesquisa formuladas na introdução, procurando compreender de que modo o ecossistema híbrido internacional analisado se configura como contexto de inovação pedagógica em ensino superior e quais as suas potencialidades e limites.

Por se basear predominantemente em fontes documentais e materiais produzidos no âmbito dos próprios programas, o estudo não inclui, nesta fase, dados sistemáticos de percepções de estudantes e docentes (por exemplo, entrevistas ou questionários estruturados). Esta limitação restringe as possibilidades de generalização e de análise das experiências vividas pelos participantes, mas abre caminho para investigações futuras que possam aprofundar, em termos empíricos, os efeitos percebidos do modelo em diferentes grupos e contextos.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. CONFIGURAÇÃO DE CONTEXTOS EDUCATIVOS HÍBRIDOS INTERNACIONAIS

A análise dos documentos permite identificar o ecossistema BIP–AHUMAN–ITP como um conjunto articulado de contextos educativos híbridos, que combinam fases virtuais e presenciais, trabalho à distância e imersão local, bem como a interação entre múltiplos atores institucionais e comunitários. No BIP, por exemplo, a sequência de sessões online e a semana presencial configuram um percurso formativo em que os estudantes transitam de momentos de introdução conceptual e planeamento colaborativo para atividades intensivas de prototipagem, testes e apresentação pública de projetos. Esta alternância reforça a ideia de que o ensino superior híbrido internacional pode ser entendido como um dispositivo pedagógico, e não apenas como uma solução logística para a mobilidade.

A Tabela 2 sintetiza os principais resultados por eixo de análise, destacando, em particular, a combinação de fases online e presenciais, a constituição de equipas multiculturais e o envolvimento de múltiplos atores institucionais e comunitários. Estes elementos aproximam o ecossistema estudado de modelos de currículo flexíveis e conectados a problemas complexos, apontados na literatura como centrais para a inovação pedagógica no ensino superior (ARVANITAKIS; HORNSBY, 2016; ZIEGLER et al., 2023). Ao articular universidade, hubs de inova-

ção, autoridades locais e comunidades em torno de desafios de sustentabilidade, os contextos analisados expandem os limites da sala de aula para espaços como lagoas de piscicultura, áreas costeiras de cultivo de algas e zonas urbanas com problemas de qualidade do ar.

Tabela 2 – Principais resultados por eixo de análise

Eixo de análise	Evidências principais observadas	Exemplos / ilustrações
Configuração de contextos híbridos internacionais	Combinação de fases online e presenciais, equipas multiculturais e envolvimento de múltiplos atores institucionais e comunitários	Sequência de sessões online e semana presencial no BIP; participação de hubs de inovação, autoridades locais e comunidades
Estratégias pedagógicas e IoT como dispositivo	Uso consistente de metodologias ativas (projetos, desafios) com a IoT a estruturar tarefas e a mediar teoria e prática	Desenvolvimento de protótipos de monitorização ambiental para piscicultura, cultivo de algas e qualidade do ar
Desenvolvimento de competências	Promoção articulada de competências técnicas, digitais e interculturais, bem como de trabalho em equipa e liderança distribuída	Perfis de competências previstos no BIP; equipas internacionais com papéis diferenciados e acompanhamento por coaches
Articulação universidade–comunidade e sustentabilidade	Forte ligação a desafios de segurança alimentar, saúde pública e transição energética em ecossistemas africanos	Projetos em tanques de piscicultura no Uganda, fazendas de algas em Zanzibar e redes de sensores em Dar es Salaam
Potencialidades e limites do modelo	Elevado potencial formativo e social, mas dependente de financiamentos, infraestruturas e condições locais de continuidade	Problemas de conectividade e manutenção de dispositivos; assimetrias entre parceiros do Norte e do Sul

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir da análise documental do ecossistema BIP–AHUMAIN–ITP (2025).

Os dados mostram ainda que a organização em equipas internacionais, com papéis diferenciados (hardware, infraestrutura, software, gestão de projeto), acrescenta uma camada de complexidade pedagógica, aproximando as experiências de aprendizagem de ambientes reais de trabalho. Esta configuração favorece a distribuição de responsabilidades, a negociação de decisões e a necessidade de coordenação em contextos marcados por diferenças culturais, linguísticas e institucionais, aspetos

frequentemente valorizados em estudos sobre internacionalização e colaboração transnacional no ensino superior (THOMPSON, 2006; DUSDAL; POWELL, 2021). Em conjunto, estes resultados sugerem que o ecossistema BIP–AHUMAIN–ITP se configura como um contexto educativo híbrido internacional robusto, no qual a combinação entre modalidades, atores e espaços contribui para a construção de experiências formativas mais situadas e socialmente relevantes.

4.2. ESTRATÉGIAS PEDAGÓGICAS E IOT COMO DISPOSITIVO EDUCATIVO

Os materiais analisados evidenciam o uso consistente de metodologias ativas, em particular trabalho por projetos, aprendizagem baseada em desafios e gestão ágil de projetos. Os estudantes são desafiados a conceber, desenvolver e apresentar protótipos de sistemas de monitorização ambiental com IoT, respondendo a problemas definidos em conjunto com parceiros locais, como a mortalidade de peixes em tanques, a vulnerabilidade de cultivos de algas a variações de salinidade e temperatura ou a escassez de dados em tempo real sobre qualidade do ar. Esta orientação para problemas reais aproxima o processo formativo da lógica de learning by doing e de pedagogias de projeto referidas em estudos sobre educação para a sustentabilidade e smart cities (Ignacio Martínez *et al.*, 2021; LópezVargas *et al.*, 2021).

A IoT assume, neste contexto, um papel central como dispositivo educativo, na medida em que estrutura tarefas, medeia interações e materializa ligações entre teoria e prática. Ao trabalhar com sensores, microcontroladores, redes de comunicação e plataformas de visualização de dados, os estudantes não apenas desenvolvem competências técnicas, mas também são confrontados com decisões sobre a relevância dos dados, a interpretação de indicadores ambientais e as implicações sociais e éticas do monitoramento em comunidades específicas. Tal como sintetizado na Tabela 2, a IoT funciona como eixo organizador das atividades, permitindo que conceitos de sustentabilidade, resiliência climática e justiça ambiental sejam tratados de forma situada, a partir de medições e experimentações em campo.

Os resultados sugerem, assim, que os protótipos de smart monitoring funcionam como artefactos mediadores de aprendizagem crítica sobre sustentabilidade, em linha com abordagens que tratam a IoT como tecnologia habilitadora dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Martinez *et al.*, 2021; Zeeshan *et al.*, 2022). A combinação entre desafios locais, tecnologias de baixo custo e colaboração inter-

nacional cria condições para que os estudantes articulem conhecimentos técnicos, compreensão dos contextos socioculturais e reflexão sobre impactos ambientais, o que reforça o potencial do ecossistema BIP–AHUMAIN–ITP enquanto contexto de inovação pedagógica em ensino superior.

4.3. DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS TÉCNICAS, DIGITAIS E INTERCULTURAIS

Os documentos relativos a objetivos de aprendizagem e perfis de competências indicam que o ecossistema em análise promove, de forma articulada, competências técnicas, digitais e interculturais. Do ponto de vista técnico, destacam-se competências de programação, eletrónica, arquitetura de sistemas IoT e análise de dados ambientais, mobilizadas no desenho e implementação dos protótipos de smart monitoring. Em termos digitais, sobressaem o uso de plataformas colaborativas online, a gestão de repositórios em cloud e a comunicação síncrona e assíncrona em equipas distribuídas.

A configuração em equipas internacionais, com papéis diferenciados e acompanhamento por coaches, reforça ainda competências de trabalho em equipa, gestão de tempo e liderança distribuída, frequentemente apontadas como centrais em contextos de colaboração transnacional no ensino superior (Thompson, 2006; Dusdal; Powell, 2021). A Tabela 2 evidencia como estas dinâmicas se materializam na prática, ao combinar equipas multiculturalmente compostas, tarefas interdependentes e interação constante com parceiros externos. Tal configuração exige dos estudantes capacidade de negociação de significados, comunicação em língua franca e adaptação a diferentes estilos de trabalho e expectativas institucionais.

Os resultados mostram ainda que a dimensão híbrida do ecossistema — com uma parte significativa do trabalho em ambiente virtual, articulada com momentos de imersão presencial — contribui para o desenvolvimento de literacia digital e para experiências de internacionalização mais inclusivas, ao permitir

a participação de estudantes com diferentes condições socioeconômicas e limitações de mobilidade física. Este achado converge com a literatura sobre inclusão digital e blended learning em contextos africanos, que defende a combinação de acesso a tecnologias, desenvolvimento de competências e envolvimento em projetos de impacto comunitário como estratégia para reduzir desigualdades (HOCKINGS, 2010; BUSTAMI; SUZANNA, 2025). Ao articular estes elementos, o ecossistema BIP–AHUMAN–ITP concretiza, em contexto formativo, princípios frequentemente enunciados em estudos sobre educação para a cidadania global e a sustentabilidade.

4.4. ARTICULAÇÃO UNIVERSIDADE–COMUNIDADE E DESAFIOS DE SUSTENTABILIDADE EM ÁFRICA

A análise dos casos de aplicação (piscicultura, cultivo de algas, qualidade do ar e agrivoltaica) evidencia uma forte articulação entre as atividades pedagógicas e desafios concretos de sustentabilidade em ecossistemas africanos, em áreas como segurança alimentar, saúde pública, gestão de recursos naturais e transição energética. Ao desenvolver protótipos e pilotos em contextos como tanques de piscicultura no Uganda, fazendas de algas em Zanzibar e zonas urbanas de Dar es Salaam, os estudantes colocam o seu trabalho ao serviço de problemas que afetam diretamente comunidades locais, reforçando o sentido de relevância social da aprendizagem. Esta articulação responde às recomendações da literatura que sublinha a importância de projetos educativos ancorados em contextos locais para a efetivação da Agenda 2030 em países do Sul Global (Liu *et al.*, 2025; Salam, 2019).

Os dados mostram que a universidade atua, neste ecossistema, como mediadora entre conhecimento especializado, tecnologias de smart monitoring e necessidades identificadas em colaboração com parceiros comunitários. A presença de hubs de inovação, ONGs e autoridades locais nos processos de definição de problemas, acompanhamento de protótipos e discussão de resultados amplia o leque

de atores implicados e contribui para que as soluções desenvolvidas tenham maior potencial de apropriação local. Ao mesmo tempo, a utilização de tecnologias de baixo custo e de plataformas abertas facilita a replicação e adaptação das soluções em diferentes contextos, embora nem sempre garanta a sua sustentabilidade a longo prazo.

Os resultados revelam, contudo, desafios importantes. Entre eles, destacam-se as limitações de conectividade em zonas rurais, a necessidade de manutenção de equipamentos em ambientes adversos e a exigência de formação continuada de atores locais para garantir a continuidade dos sistemas após o término das atividades de mobilidade. Estas limitações ecoam alertas presentes em estudos sobre replicabilidade de soluções tecnológicas em contextos sociotécnicos diversos, que insistem na importância de processos de codesign, financiamento adequado e políticas públicas favoráveis (Guttinger, 2020; Dusdal; Powell, 2021). Assim, embora os resultados apontem para um elevado potencial formativo e social, sugerem também que o modelo depende de condições estruturais e institucionais que nem sempre estão plenamente asseguradas.

4.5. POTENCIALIDADES E LIMITES DO MODELO COMO INOVAÇÃO PEDAGÓGICA

Em síntese, a análise indica que o ecossistema híbrido internacional estudado apresenta forte potencial como contexto de inovação pedagógica em ensino superior, ao combinar: (i) um desenho curricular híbrido e transnacional; (ii) o uso de IoT e smart monitoring como dispositivos educativos; e (iii) a ancoragem em desafios de sustentabilidade em ecossistemas africanos. Estas características respondem às questões de pesquisa na medida em que evidenciam o desenvolvimento de competências técnicas, digitais e interculturais, a ampliação dos contextos educativos para além da sala de aula e a aproximação entre universidade, comunidades e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Do ponto de vista pedagógico, o modelo mostrase particularmente promissor por artic-

ular metodologias ativas, trabalho em equipa interdisciplinar e colaboração internacional em torno de problemas autênticos. A centralidade atribuída aos protótipos de smart monitoring contribui para ligar teoria e prática, favorecer a aprendizagem baseada em projetos e promover uma compreensão mais crítica das implicações sociais, ambientais e éticas do uso de tecnologias digitais em contextos africanos. Ao mesmo tempo, a configuração híbrida amplia as possibilidades de participação e internacionalização, sobretudo para estudantes que, por razões económicas ou logísticas, teriam menos oportunidades de mobilidade física.

Por outro lado, a dependência de financiamentos internacionais, a complexidade de coordenação entre múltiplas instituições e as assimetrias de infraestruturas entre parceiros do Norte e do Sul configuram limites relevantes, que podem afetar a continuidade e a escalabilidade do modelo. A sustentabilidade das soluções tecnológicas e pedagógicas desenvolvidas exige condições de conectividade, manutenção e apoio institucional que nem sempre estão garantidas nos contextos locais. Estes elementos convidam a uma leitura crítica do ensino superior híbrido internacional: ao mesmo tempo em que se afirma como espaço privilegiado de experimentação pedagógica e de cooperação solidária, permanece atravessado por tensões e desigualdades que requerem reflexão permanente e estratégias de mitigação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo analisou o ensino superior híbrido internacional como um contexto específico de inovação pedagógica, tomando como estudo de caso a articulação entre um Blended Intensive Programme (BIP), o projeto AHUMAIN e um International Training Programme (ITP) orientados para desafios de monitorização ambiental e resiliência climática em ecossistemas africanos. Os resultados mostram que o ecossistema BIP–AHUMAIN–ITP configura contextos educativos expandidos, que combinam fases online e presenciais, equipas multiculturais e a participação de múltiplos atores

institucionais e comunitários, aproximando universidade, hubs de inovação, autoridades locais e comunidades em torno de problemas de sustentabilidade.

Do ponto de vista formativo, evidenciouse o desenvolvimento articulado de competências técnicas, digitais e interculturais, bem como de trabalho em equipa e liderança distribuída, ancorado em metodologias ativas e em projetos de smart monitoring com IoT. A utilização de tecnologias de baixo custo e de plataformas colaborativas online contribuiu para criar experiências de aprendizagem autênticas, nas quais os estudantes concebem e testam protótipos em contextos reais de produção de alimentos, gestão de recursos e monitorização ambiental, reforçando a relevância social da formação. A dimensão híbrida e transnacional do modelo mostrou ainda potencial para promover formas mais inclusivas de internacionalização, ao alargar a participação de estudantes que enfrentam constrangimentos de mobilidade física e socioeconómica.

Ao mesmo tempo, o estudo evidenciou limites importantes. A dependência de financiamentos internacionais, as assimetrias de infraestruturas entre parceiros do Norte e do Sul e as dificuldades de manutenção e continuidade das soluções nos contextos locais colocam desafios à sustentabilidade do modelo e à sua eventual escalabilidade. Tais constrangimentos lembram que iniciativas de ensino superior híbrido internacional, embora promissoras, não estão imunes a tensões estruturais e exigem estratégias deliberadas de codesign, reforço de capacidades locais e articulação com políticas públicas de educação e desenvolvimento.

Em termos de contributos, o artigo acrescenta à literatura ao articular, de forma integrada, o uso de IoT e smart monitoring em problemas de sustentabilidade em ecossistemas africanos, modelos de ensino superior híbrido internacional e a análise destes arranjos como contextos de inovação pedagógica. Para instituições de ensino superior e decisores, os resultados sugerem a pertinência de investir em ecossistemas formativos que combinem colaboração internacional, tecnologias digitais

acessíveis e envolvimento comunitário, como estratégia para promover educação para a sustentabilidade e cidadania global. Investigações futuras poderão aprofundar as percepções de estudantes, docentes e parceiros locais, bem como os efeitos de longo prazo deste tipo de iniciativa, recorrendo a metodologias que incluam entrevistas, questionários e estudos longitudinais em diferentes contextos.

REFERÊNCIAS

ADEBAYO, A.; POPOOLA, O. V.; OYEDEJI, O. C. **Climate change effect in Nigeria: mitigation, adaptation strategies and the role of IoT.** 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/380615790>. Acesso em: 15 dez. 2025.

AMERICAN PLANNING ASSOCIATION. **Smart Cities and Sustainability Initiative.** Chicago, 2015.

ARVANITAKIS, J.; HORNSBY, D. J. (Org.). **Universities, the citizen scholar and the future of higher education.** London: Palgrave Macmillan, 2016.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo.** Lisboa: Edições 70, 2011.

BUSTAMI, M. F.; SUZANNA, E. IoT-based environmental monitoring and its implications for student mental health. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 19, n. 2, 2025.

DUSDAL, J.; POWELL, J. J. W. Benefits, motivations, and challenges of international collaborative research: a sociology of science case study. **Science and Public Policy**, v. 48, n. 2, p. 235–245, 2021.

ERASMUS WIKI. **Blended Intensive Programmes.** European Commission, 2025. Disponível em: <https://wikis.ec.europa.eu/spaces/NAITDOC/pages/95553249>. Acesso em: 10 nov. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Erasmus+ Pro-**

gramme Guide 2025. Brussels, 2025. Disponível em: <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

GANANCIAS, F. M. *et al.* IoT-controlled seaweed monitoring system. **Scientific International** (Lahore), v. 36, n. 6, p. 415–419, 2024.

GURIN, P. *et al.* **Diversity and higher education: theory and impact on educational outcomes.** Harvard Educational Review, v. 72, n. 3, p. 330–366, 2002.

GUTTINGER, S. The limits of replicability. **European Journal for Philosophy of Science**, v. 10, art. 10, 2020.

HEMAL, M. M. *et al.* An integrated smart pond water quality monitoring and fish farming recommendation Aquabot system. **Sensors**, v. 24, n. 11, 3682, 2024.

HOCKINGS, C. Inclusive learning and teaching in higher education: a synthesis of research. York: Higher Education Academy, 2010.

IGNACIO MARTÍNEZ, I. *et al.* Internet of Things (IoT) as Sustainable Development Goals (SDG) enabling technology. **Sustainability**, v. 13, n. 14, 7647, 2021.

INEZA, Y. **IoT monitoring systems in aquaculture: case study of University of Rwanda Fish Farming and Research Station (URFFRS).** 2022. Dissertação (Mestrado) – University of Rwanda, Kigali, 2022.

ISCTE – INSTITUTO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA. **Erasmus+ Blended Intensive Programmes.** Lisboa, 2024. Disponível em: <https://www.iscte-iul.pt/conteudos/internacional/mobilidade/2570>. Acesso em: 5 out. 2025.

KARUME INNOVATION HUB. **Monitoring air quality in Dar es Salaam. Zanzibar,** 2025. Disponível em: <https://kih.kist.ac.tz/2025/04/01/monitoring-air-quality-in-dar-es-salaam/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

KITCHIN, R. The real-time city? Big data and smart urbanism. **GeoJournal**, v. 79, n. 1, p. 1–14, 2014.

KLAVINA, A. et al. **Inclusive and adapted physical activities**: reflections from a Blended Intensive Programme. European Federation of Adapted Physical Activity, 2023.

LIU, L.; CHENG, W.; KUO, H.-W. A narrative review on smart sensors and IoT solutions for sustainable agriculture and aquaculture practices. **Sustainability**, v. 17, n. 12, 5256, 2025.

LÓPEZVARGAS, A. et al. IoT for global development to achieve the United Nations Sustainable Development Goals. *IEEE Access*, 2021.

MULUME, D. M. **Michael**: an innovative disaster management solution for climate resilience in Africa. 2025. Disponível em: <https://www.academia.edu>. Acesso em: 30 nov. 2025.

POPOOLA, O. V.; ADEBAYO, A.; OYEDEJI, O. C. **Climate change effect in Nigeria**: mitigation, adaptation strategies and the role of IoT. 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/380615790>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SALAM, A. Internet of things for environmental sustainability and climate change. In: SALAM, A. (ed.). **Internet of things for sustainable community development**. Cham: Springer, 2019. p. 33–69.

SINGH, M.; SAHOO, K. S.; GANDOMI, A. H. Intelligent-IoT-based data analytics for freshwater recirculating aquaculture system. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 11, n. 3, p. 4206–4218, 2024.

THOMPSON, D. R. International collaboration and sharing lessons learned. **Journal of Research in Nursing**, v. 11, n. 4, p. 285–287, 2006.

VASCONCELOS, M. C. P. S. J. **How Internet of Things can contribute to the United Nations**

sustainable development goals. 2022. Dissertação (Mestrado) – Nova School of Business and Economics, Carcavelos, 2022.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZEESHAN, K.; HÄMÄLÄINEN, T.; NEITTA-ANMÄKI, P. Internet of Things for sustainable smart education: an overview. **Sustainability**, v. 14, n. 7, 4293, 2022.

ZIEGLER, S. et al. The role of IoT in supporting the UN Agenda 2030: a science diplomacy perspective. In: MARTINEZ, C. et al. (ed.). **Springer handbook of Internet of Things**. Cham: Springer, 2023. p. 775–786.

Recebido em 28 de fevereiro de 2026

Aceito em 03 de março de 2026