

Desenvolvimento de *startups* na fábrica de aprendizagem de um ecossistema universitário

Renan Esposito Vieira (Escola Politécnica da USP)

Thayla Tavares de Sousa Zomer (Escola Politécnica da USP)

Eduardo de Senzi Zancul (Escola Politécnica da USP)



O presente estudo teve como objetivo analisar o desenvolvimento de empresas de base tecnológica (EBTs) inseridas no ambiente de uma fábrica de aprendizagem voltada à Indústria 4.0 e situada no ecossistema da Universidade de São Paulo (USP). Utilizando uma abordagem qualitativa, foram investigadas três startups atuantes na Fábrica do Futuro, por meio de entrevistas semiestruturadas, análise documental e observações diretas. A análise concentrou-se em identificar os recursos utilizados pelas EBTs, os benefícios derivados dessa interação, bem como as contribuições oferecidas pelas startups à Fábrica de Aprendizagem. Os resultados evidenciaram uma ampla gama de recursos acessados pelas empresas, incluindo infraestrutura técnica, orientação especializada e integração em redes colaborativas. A maior parte dos benefícios percebidos foram ou serão conferidos diretamente pela fábrica à startup, e os benefícios indiretos envolveram geralmente a influência do mencionado ecossistema no desenvolvimento das empresas. As startups também conferiram recursos valiosos à Fábrica, como conhecimento técnico, propriedade intelectual e ampliação da rede de contatos. A análise identificou reciprocidade na relação entre as empresas e a fábrica de aprendizagem, reforçando sua função como facilitadora da inovação aberta e da aprendizagem prática. Contudo, observou-se que a Fábrica do Futuro só atuou plenamente como ambiente de inovação devido à sua integração no ambiente universitário mais amplo, dito “ecossistema universitário”. O estudo contribui ao demonstrar empiricamente como fábricas de aprendizagem podem apoiar o surgimento e o desenvolvimento de EBTs, embora reconheça limitações quanto à generalização dos resultados e sugira futuras investigações em outros contextos institucionais.

Palavras-chave: Fábrica de Aprendizagem; Ecossistema de Inovação; Empresas de Base Tecnológica; Inovação Aberta.

1. Introdução

A crescente complexidade dos processos produtivos e a transformação digital impulsionada pela Indústria 4.0 têm demandado novos modelos de formação de profissionais e desenvolvimento tecnológico em empresas. Nesse contexto, as fábricas de aprendizagem (*learning factories*) emergem como ambientes de relevância, simulando cenários industriais reais, permitindo a experimentação de tecnologias, métodos de produção e modelos organizacionais (ABELE; METTERNICH; TISCH, 2019; ZANCUL, 2021). Ao se considerar especialmente a presença dessas fábricas de aprendizagem em ambientes universitários ou acadêmicos, destaca-se que elas têm desempenhado um papel significativo na formação de competências técnicas e gerenciais, bem como na promoção de colaboração entre a academia e as empresas (ABELE; METTERNICH; TISCH, 2019; ZANCUL, 2021).

No entanto, embora a literatura reconheça amplamente o potencial das fábricas de aprendizagem na educação e na transferência de tecnologia, ainda é incipiente a compreensão de seu papel como ambientes propícios ao surgimento e desenvolvimento de empresas de base tecnológica (EBTs) em geral (ZANCUL; ROMERAL; SCHÜTZER, 2022), em especial considerando seu potencial de infraestrutura e de acesso aos *stakeholders* de negócios e inovação. Esforços iniciais foram realizados por Zancul, Romeral e Schützer (2022) ao analisar o desempenho de uma fábrica de aprendizagem como um ecossistema de inovação, mas ainda são necessários esforços adicionais em compreender mais a fundo a forma de cooperação entre empresas, fábrica de aprendizagem e o ambiente universitário em contexto mais amplo.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo geral analisar o desenvolvimento de empresas de base tecnológica no ambiente de uma fábrica de aprendizagem voltada à Indústria 4.0 e inserida em um ecossistema universitário de São Paulo, SP. Para alcançar esse objetivo geral, foram definidos dois objetivos específicos: (I) identificar as características e as estratégias adotadas por três empresas de base tecnológica desenvolvidas no contexto da fábrica de aprendizagem estudada; e (II) compreender as relações estabelecidas entre a universidade, a fábrica de aprendizagem e as empresas, considerando aspectos de transferência de conhecimento, inovação e empreendedorismo. Esses objetivos permitem explorar não apenas fatores que viabilizam o surgimento das EBTs, mas também as dinâmicas institucionais e pedagógicas que contribuem para seu crescimento e consolidação.

Esta investigação contribui tanto para a literatura acadêmica quanto para a prática de gestores universitários, formuladores de políticas públicas e empreendedores interessados em estratégias de promoção de EBTs a partir de ambientes de aprendizagem avançados, ao evidenciar empiricamente como fábricas de aprendizagem inseridas em ecossistemas universitários podem

atuar como plataformas de suporte técnico, integração de *stakeholders* e geração de valor à academia e à empresa, articulando educação, inovação e empreendedorismo na prática.

Justifica-se ainda esta pesquisa pela lacuna identificada na literatura especializada, que, embora reconheça o valor educativo e tecnológico das fábricas de aprendizagem (AHMAD et al., 2018; ABELE et al., 2019; CENTEA et al., 2020), não aborda de maneira sistemática sua potencialidade como catalisadoras do surgimento e do desenvolvimento de empresas de base tecnológica. A maioria dos estudos existentes enfatiza a capacitação de profissionais e a transferência de tecnologias para empresas já estabelecidas, negligenciando o papel que esses ambientes podem desempenhar como espaços de incubação, aceleração e apoio a novos empreendimentos inovadores. Assim, este trabalho busca atuar nessa lacuna, oferecendo uma análise empírica e teórica que articula educação, inovação e empreendedorismo no âmbito universitário.

2. Fábricas de aprendizagem

2.1. Conceito e aplicações

As fábricas de aprendizagem (*learning factories*) constituem ambientes educacionais e de pesquisa que replicam, de forma realista, processos industriais autênticos, integrando aspectos técnicos e organizacionais com objetivos pedagógicos. Segundo Abele, Metternich e Tisch (2019), esses ambientes oferecem uma cadeia de valor completa ou parcial, combinando estações físicas ou virtuais de manufatura com uma didática baseada em ações práticas. As fábricas de aprendizagem possibilitam que estudantes, pesquisadores e profissionais desenvolvam competências técnicas e transversais — como gestão de processos, trabalho em equipe e resolução de problemas complexos — essenciais para atender às demandas da Indústria 4.0 e da digitalização da produção.

Esses ambientes têm desempenhado um papel crucial na modernização da educação em engenharia e gestão industrial, oferecendo ambientes que conciliam teoria e prática de maneira integrada. Abele, Metternich e Tisch (2019) destacam que esses espaços não apenas desenvolvem competências técnicas, mas também promovem habilidades sociais, como liderança, trabalho em equipe e pensamento crítico, alinhadas às demandas de um mercado cada vez mais dinâmico e digitalizado. Casos como de Ahmad et al. (2018) e Centea et al. (2020), abordados em seção adiante, reforçam o papel educativo desses ambientes, proporcionando um diferencial competitivo significativo aos futuros profissionais e aproximando as instituições de ensino das reais necessidades da indústria.

De maneira geral, segundo Abele, Metternich e Tisch (2019), as fábricas de aprendizagem são utilizadas principalmente para educação (preparando estudantes com competências técnicas e transversais alinhadas às demandas da indústria moderna), treinamento profissional (oferecendo qualificação contínua para trabalhadores e gestores), pesquisa aplicada (desenvolvendo e testando novas tecnologias, métodos de produção e conceitos organizacionais) e transferência de tecnologia e inovação aberta, atuando como plataformas de colaboração entre universidades, empresas e centros de pesquisa.

Essas fábricas de aprendizagem também contribuem para o desenvolvimento de competências específicas, como manufatura enxuta, Indústria 4.0, sustentabilidade e eficiência energética, e servem como espaços de experimentação segura, onde soluções podem ser prototipadas e validadas antes de serem implementadas em ambientes industriais reais (AHMAD et al., 2018; CENTEA et al., 2020; ZANCUL et al., 2020; ZANCUL; SILVEIRA; SCHÜTZER, 2023). Essa multiplicidade de funções reforça o papel estratégico das fábricas de aprendizagem na integração entre educação, tecnologia e prática empresarial.

2.2. Presença em ambientes universitários e a relação com empresas de base tecnológica

As fábricas de aprendizagem têm sido implantadas em ambientes universitários como instrumentos de ensino ativo, pesquisa aplicada e transferência de tecnologia. Abele, Metternich e Tisch (2019) destacam que a principal ênfase, segundo os autores, tem sido a formação de profissionais mais qualificados e preparados para integrar e liderar processos de inovação tecnológica no setor produtivo. Entretanto, pouco se aborda a respeito da relação direta das fábricas de aprendizagem com a criação e desenvolvimento de empresas, em especial aquelas de base tecnológica que porventura dependem de benefícios físicos e intelectuais conferidos por esses ambientes para seu desenvolvimento. Ainda, a presença da fábrica de aprendizagem no contexto de um ecossistema universitário impacta diretamente em tal fenômeno, e isso também deve ser considerado.

Ahmad et al. (2018) descrevem a experiência da Alberta *Learning Factory*, que proporciona aos estudantes uma formação prática interdisciplinar com foco na manufatura reconfigurável e na gestão de projetos integrados a sistemas ERP. Essa iniciativa visa alinhar as competências formadas na universidade com as necessidades reais do mercado industrial, utilizando projetos que envolvem design, montagem e análise de sistemas produtivos. Embora o desenvolvimento de competências empreendedoras seja incentivado por meio do aprendizado baseado em projetos, os autores não abordam explicitamente a criação ou incubação de empresas de base tecnológica (EBTs) como um desdobramento formal dessas atividades.

No mesmo sentido, Centea et al. (2020) apresentam o caso da SEPT Learning Factory, vinculada à McMaster University, onde estudantes aplicam conceitos de *design thinking* e Indústria 4.0 para resolver problemas de pequenas e médias empresas (PMEs). A fábrica de aprendizagem fornece um ambiente controlado no qual protótipos podem ser desenvolvidos e testados antes da implementação em empresas reais. Apesar de favorecer a interação universidade-indústria e estimular a inovação aplicada, o foco principal permanece no desenvolvimento de soluções para terceiros e na formação de estudantes, sem uma conexão direta formalizada com a criação de EBTs oriundas desses projetos.

Wank et al. (2016) e Wienbruch et al. (2018) reforçam o papel das fábricas de aprendizagem na capacitação de profissionais e na transferência de conceitos da Indústria 4.0 para pequenas e médias empresas, especialmente em contextos de adaptação e evolução tecnológica gradual. As fábricas de aprendizagem descritas nesses estudos — incluindo a Effiziente Fabrik 4.0 e outras iniciativas europeias — são apresentadas como pontes entre pesquisa acadêmica e aplicação industrial. Ainda assim, embora sejam identificados como espaços de demonstração tecnológica e treinamento, esses ambientes não foram formalmente explorados na literatura como incubadoras de negócios ou como mecanismos estruturados para o surgimento e o desenvolvimento de empresas de base tecnológica.

Zancul, Romeral e Schützer (2022) propuseram um modelo conceitual que posiciona as fábricas de aprendizagem como ecossistemas de inovação, ampliando sua compreensão para além do papel tradicional de ambientes de ensino e treinamento. No estudo de caso realizado na Fábrica do Futuro, vinculada à Universidade de São Paulo, os autores demonstraram como a colaboração entre universidades, fornecedores de tecnologia, usuários industriais e *startups* viabilizou o desenvolvimento de competências avançadas, soluções inovadoras e até mesmo a criação de uma *startup spin-off* originada de um projeto desenvolvido dentro da própria fábrica de aprendizagem. No entanto, apesar desses avanços, os próprios autores reconhecem que a literatura ainda carece de estudos que sistematizem e aprofundem a análise sobre o papel das fábricas de aprendizagem na criação e no desenvolvimento de EBTs. Essa lacuna persiste especialmente no que se refere à compreensão dos fatores institucionais, tecnológicos e organizacionais que contribuem para a transição de iniciativas educacionais para empreendimentos tecnológicos sustentáveis.

A questão pode ser discutida à luz de alguns autores que analisam elementos fundamentais para a articulação entre universidades e empresas, bem como para a dinâmica de circulação do conhecimento em ambientes inovadores. Bellini et al. (2019) destacam que, embora a colaboração universidade-indústria tenha avançado consideravelmente em setores

tecnológicos, os benefícios dessas parcerias não são automáticos. Eles dependem do desenvolvimento de competências relacionais, como o know-how colaborativo e a confiança mútua, que mediam a transformação de interações institucionais em resultados tangíveis, como inovações em produtos e processos. Essa perspectiva é relevante para as fábricas de aprendizagem universitárias, pois sugere que tais ambientes não apenas facilitam a capacitação técnica, mas também criam oportunidades para o amadurecimento de relações colaborativas entre pesquisadores, estudantes e empreendedores — um componente crítico para o surgimento e consolidação de EBTs. Nessa direção, Schaeffer, Guerrero e Fischer (2021) reforçam que as universidades não devem ser vistas apenas como fornecedoras de conhecimento, mas também como beneficiárias de recursos, capacidades e legitimidade advindos dos ecossistemas de inovação nos quais estão inseridas, em uma lógica de mutualismo que amplia as possibilidades de cocriação e fortalecimento institucional.

Complementarmente, Anand et al. (2021) evidenciam que práticas eficazes de *knowledge sharing* e *knowledge transfer* em pequenas e médias empresas (PMEs) são determinantes para o fortalecimento da inovação, da criatividade e da sustentabilidade organizacional. Segundo os autores, fatores como confiança, cultura organizacional aberta e estratégias de gestão do conhecimento em múltiplos níveis — individual, grupal e organizacional — são essenciais para garantir que o conhecimento circulante se converta em valor competitivo. Ao considerar as fábricas de aprendizagem como ecossistemas que conectam formação acadêmica, prática produtiva e empreendedorismo, percebe-se que os princípios identificados por Anand et al. (2021) podem ser aplicados à compreensão de como o conhecimento é compartilhado e transferido entre atores diversos (universidade, estudantes, profissionais e empresas), criando condições para o desenvolvimento de EBTs. Assim, embora a literatura ainda não trate diretamente dessa conexão, as abordagens de Bellini et al. (2019) e Anand et al. (2021) oferecem elementos teóricos valiosos para sustentar a análise proposta neste estudo.

3. Metodologia

Este estudo adotou uma abordagem qualitativa com o objetivo de analisar o desenvolvimento de empresas de base tecnológica (EBTs) inseridas no ambiente de uma fábrica de aprendizagem universitária. A pesquisa foi conduzida na Fábrica do Futuro, localizada no prédio do InovaUSP, que integra o ecossistema de inovação da Universidade de São Paulo (USP). A escolha do caso de uma fábrica de aprendizagem situada em São Paulo se justifica pela relevância da região como polo industrial e tecnológico, bem como pela existência de iniciativas universitárias que buscam integrar ensino, pesquisa e inovação aplicada. O ambiente da Fábrica

do Futuro especificamente foi escolhido por sua relevância como espaço de experimentação tecnológica, formação de competências e interação entre universidade, indústria e *startups*. A análise no estudo centrou-se em três empresas de base tecnológica que operam no ambiente, buscando compreender como se deu a utilização do ambiente da fábrica de aprendizagem ao longo de suas trajetórias de desenvolvimento, bem como fatores organizacionais que influenciam seu crescimento e eventuais relações estabelecidas pelas empresas com a fábrica de aprendizagem e o ecossistema universitário.

A coleta de dados foi realizada por meio de fontes primárias e secundárias. Foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com representantes das EBTs, que abordaram temas como a origem das empresas, os processos de inovação adotados, os mecanismos de interação com a fábrica de aprendizagem, com a universidade e as estratégias para superação de desafios tecnológicos e de mercado. Além disso, foi realizada uma análise documental de termos de cooperação, materiais de divulgação, produções científicas e registros de atividades da Fábrica do Futuro, complementada por observações diretas realizadas durante visitas ao local. As coletas de dados foram obtidas entre julho/ 2022 e março/2025, e foram baseadas na observação de eventos que geraram a consolidação de novos recursos ou benefícios envolvidos às *startups* ou potencialmente à fábrica de aprendizagem. Realizou-se uma análise do conteúdo das entrevistas, buscando identificar benefícios, estratégias e desafios comuns enfrentados pelas EBTs no processo de desenvolvimento em um ambiente universitário de aprendizagem avançada, alinhado à perspectiva de inovação aberta. Foram considerados os cinco aspectos a seguir:

- a) Recurso da Fábrica de Aprendizagem utilizado/almejado pela *Startup*: aqui, foram levantados os principais recursos buscados pelas *startups* participantes do estudo no ambiente da fábrica de aprendizagem;
- b) Benefício/Finalidade do recurso da Fábrica de Aprendizagem à *Startup*: o uso de tais recursos gerou (ou se espera gerar) benefícios à *startup*, e o presente tópico visou listar os principais benefícios esperados ou alcançados pelas empresas;
- c) Benefício direto ou indireto: foi assinalado se o benefício foi considerado de maneira direta ou indireta pela fábrica, considerando que o ecossistema universitário também contribuiu de forma direta com o desenvolvimento da correlação da empresa com a fábrica de aprendizagem;
- d) Recurso da *Startup* potencialmente conferido à Fábrica de Aprendizagem: muito embora o cenário tenha sido predominantemente voltado à atribuição de ganhos da fábrica às *startups*, foi frequente encontrar situações em que as empresas conferiram

recursos à fábrica de aprendizagem, muito vezes em um formato “simbiótico” de correlação. Esses recursos foram identificados e listados;

- e) Benefício do recurso da *Startup* à Fábrica de Aprendizagem: por fim, os recursos conferidos pela *startup* à fábrica geraram benefícios que foram listados aqui.

Os nomes das empresas não serão divulgados para preservar o sigilo das EBTs analisadas. Contudo, a Tabela 1 apresenta uma síntese descrevendo da área de atuação de cada uma e o seu nível de maturidade tecnológica (*Technology Readiness Level*, TRL) no atual momento, permitindo ao leitor compreender a diversidade e o estágio de desenvolvimento tecnológico dos casos estudados.

Tabela 1 – Áreas de atuação e maturidades tecnológicas das *startups*

<i>Startup</i>	Área de atuação	TRL
01	Farmácia Veterinária / Manufatura Aditiva	2 - 3
02	Desenvolvimento de máquinas de visão com Inteligência Artificial	8 - 9
03	Desenvolvimento de softwares e hardwares	3 - 4

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta a variedade de recursos utilizados ou buscados pelas *startups* na Fábrica do Futuro, refletindo tanto a diversidade de suas necessidades tecnológicas quanto a capacidade da fábrica em atender a diferentes demandas. Foram citados especialmente o espaço colaborativo e o acesso a máquinas e equipamentos de tecnologia avançada, o que seria de difícil alcance às empresas em outros ambientes ou contextos. Esses recursos possibilitaram benefícios estratégicos e operacionais, como desenvolvimento de produtos e processos, *networking*, vendas, treinamento de colaboradores e *benchmarking*. Destaca-se ainda que algumas *startups* utilizaram o espaço da fábrica como sede operacional, reforçando a multifuncionalidade do ambiente, não apenas como espaço de desenvolvimento tecnológico, mas também como suporte para desafios empresariais estruturais.

Tabela 2 – Recursos e benefícios da fábrica de aprendizagem utilizados/buscados pelas *startups*

Recurso da <i>startup</i>	Benefícios à fábrica de aprendizagem
	Desenvolvimento de produto
Máquinas e Equipamentos	Desenvolvimento de processo
	<i>Networking</i> e vendas (negócios e parcerias)
Espaço Colaborativo / Ecossistema	Treinamento e capacitação de colaboradores
	<i>Benchmarking</i>
Orientadores / mentores	Uso como escritório / sede
	Orientação / mentoria técnica
Aprendizes / Estudantes	Acesso a mão-de-obra qualificada (universidade)
	Facilitação de acesso a ecossistema

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 3 – Proporção de benefícios diretos/indiretos da fábrica de aprendizagem às *startups*

Área de atuação	%
Direto	73,9%
Indireto	7,6%
Direto e indireto	18,5%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4 – Recursos e benefícios conferidos pelas *startups* à fábrica de aprendizagem

Recurso da <i>startup</i>	Benefícios à fábrica de aprendizagem
Colaborador da empresa	Geração de conhecimento técnico e científico
Recursos físicos adicionais à estrutura	Apresentação da LF para <i>stakeholders</i>
Propriedade intelectual / Conhecimento técnico da empresa	Contrapartida de infraestrutura
Rede de contatos da empresa	Facilitação do acesso de aprendizes ao mercado de trabalho

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ainda na Tabela 2, observa-se que os benefícios percebidos extrapolam as vantagens convencionais de infraestrutura, alcançando elementos essenciais para a inovação aberta, como orientação técnica qualificada e integração ao ecossistema universitário. Esse tipo de benefício foi discutido por Ahmad et al. (2018), ao descreverem como as fábricas de aprendizagem não só fornecem capacitação técnica, mas também oportunidades de imersão em ambientes interdisciplinares que favorecem a inovação incremental e radical. Além disso, Centea et al. (2020) evidenciam a importância de espaços que ofereçam suporte técnico e permitam o

desenvolvimento de soluções aplicáveis a contextos industriais reais, como ocorreu com as *startups* analisadas. O papel de orientadores e aprendizes, neste caso, também reforça a formação de capital humano alinhado com as competências necessárias para a Indústria 4.0, conforme destacado por Wienbruch et al. (2018).

A Tabela 3 aprofunda a análise ao quantificar os benefícios diretos e indiretos proporcionados pela Fábrica do Futuro. Com 73,9% dos benefícios identificados nos eventos de coletas de dados classificados como diretos, observa-se que a maioria das interações entre as *startups* e a Fábrica resultou em impactos imediatos, tangíveis e diretamente aplicáveis aos desafios tecnológicos e de mercado enfrentados pelas empresas. Já os benefícios indiretos (7,6%) e combinados (18,5%) refletem contribuições menos visíveis, mas igualmente relevantes, como o acesso a redes de conhecimento, parcerias institucionais e oportunidades de visibilidade no ecossistema de inovação. Esses dados corroboram as observações de Bellini et al. (2019), que identificaram que a confiança mútua e o desenvolvimento de *know-how* colaborativo em ambientes de interação universidade–empresa são cruciais para maximizar tanto os resultados tangíveis quanto os intangíveis das parcerias. Além disso, Anand et al. (2021) reforçaram que práticas eficazes de *knowledge sharing* e *knowledge transfer*, especialmente em PMEs e *startups*, dependem de ambientes que cultivem confiança e uma cultura de inovação colaborativa, características evidentes na Fábrica do Futuro.

A Tabela 4 evidencia a reciprocidade nas relações estabelecidas entre as *startups* e a fábrica de aprendizagem. Embora o foco inicial da interação tenha sido o suporte fornecido pela Fábrica às *startups*, as empresas também devolveram valor ao ambiente. Entre os recursos conferidos destacam-se a disponibilização de colaboradores, recursos físicos adicionais, propriedade intelectual, conhecimento técnico e redes de contatos. Esses aportes geraram benefícios substanciais para a Fábrica, incluindo a geração de conhecimento técnico e científico, ampliação da infraestrutura, apresentação da fábrica de aprendizagem a novos *stakeholders* e facilitação do acesso de aprendizes ao mercado de trabalho. Essa troca de valor bidirecional confirma o que Wank et al. (2016) descreveram como "cooperação simbiótica", em que as fábricas de aprendizagem evoluem ao absorver as inovações e competências trazidas pelos parceiros empresariais, criando um círculo virtuoso de aprendizagem e inovação.

A análise integrada das tabelas permite perceber que a Fábrica do Futuro vai além de um espaço físico de suporte tecnológico, funcionando como um ambiente dinâmico que promove aprendizado, inovação e empreendedorismo de maneira integrada. Os recursos disponibilizados aceleraram o desenvolvimento tecnológico das *startups* e, em contrapartida, essas empresas contribuíram para a evolução contínua da própria Fábrica e da universidade como um todo.

Essa retroalimentação dialoga com o modelo conceitual de fábrica de aprendizagem como ecossistema de inovação proposto por Zancul, Romeral e Schützer (2022), no qual diferentes atores - fornecedores, usuários, empreendedores e instituições acadêmicas - colaboram em um ambiente de inovação aberta, impulsionando o surgimento de soluções tecnológicas e até mesmo novos negócios. Ainda, se encontra com os achados de Schaeffer, Guerrero e Fischer (2021), que destacam o mutualismo como uma característica essencial dos ecossistemas de inovação em que universidades não apenas fornecem conhecimento, mas também recebem aportes estratégicos que fortalecem sua atuação institucional e empreendedora.

Entretanto, ainda cabe discussão nesse ponto, uma vez que não necessariamente a fábrica de aprendizagem por si só constitui um “ecossistema”, mas, no caso do presente estudo, ela “está inserida” em um ecossistema amplo e estruturado: o ambiente da Universidade de São Paulo. Conforme argumentam Zancul, Romeral e Schützer (2022), embora as fábricas de aprendizagem possam desempenhar papéis centrais na articulação de atores diversos, sua atuação depende da integração com outros elementos institucionais, como centros de pesquisa, programas de empreendedorismo, políticas de inovação e redes externas de parceiros. No caso da Fábrica do Futuro, sua inserção no InovaUSP e o acesso a recursos acadêmicos e empresariais possibilitaram transcender as funções de ensino e capacitação técnica, atuando efetivamente como uma conexão dentro do ecossistema universitário. Essa condição reforça a importância de considerar o contexto institucional e as relações estabelecidas com o ambiente externo na análise da capacidade das fábricas de aprendizagem de promoverem inovação e empreendedorismo tecnológico.

Por fim, os resultados obtidos neste estudo fornecem evidências empíricas para ampliar a compreensão do papel das fábricas de aprendizagem universitárias no apoio ao desenvolvimento de empresas de base tecnológica. Apesar do reconhecimento consolidado desses ambientes como ferramentas educativas e de transferência de tecnologia (Abele et al., 2019; Ahmad et al., 2018; Centea et al., 2020), os dados coletados indicam que eles também podem atuar como plataformas estruturadas potencialmente para a incubação e aceleração de EBTs, especialmente quando operam sob princípios de inovação aberta. Este estudo contribui, portanto, com um caso empírico que demonstra como a interação simbiótica entre *startups* e fábricas de aprendizagem pode promover benefícios mútuos e gerar impactos positivos no ecossistema universitário de inovação.

5. Conclusão

Os resultados deste estudo evidenciaram que a Fábrica do Futuro, inserida no ambiente universitário da Universidade de São Paulo, desempenha um papel significativo no desenvolvimento de empresas de base tecnológica (EBTs), funcionando como um espaço de aprendizado prático, inovação tecnológica e articulação entre múltiplos atores. As análises demonstraram que as *startups* se beneficiaram de recursos variados, incluindo infraestrutura física, orientação técnica e acesso a redes colaborativas, o que impactou diretamente em seu desenvolvimento de produtos, processos e estratégias de mercado. Além disso, foi possível observar que as próprias EBTs contribuíram com recursos e benefícios à fábrica, criando uma relação simbiótica que fortaleceu tanto as empresas quanto o ambiente de aprendizagem. Essas observações ampliam conceitos discutidos por autores como Abele et al. (2019), Ahmad et al. (2018) e Centea et al. (2020), reforçando o potencial das fábricas de aprendizagem como instrumentos integradores de ensino, pesquisa aplicada e inovação.

A interação entre as *startups* e a fábrica de aprendizagem também evidenciou dinâmicas de inovação aberta e compartilhamento de conhecimento que transcendem os benefícios tradicionais atribuídos a ambientes de capacitação técnica. A análise integrada dos dados demonstrou que, embora a Fábrica do Futuro tenha atuado como facilitadora do desenvolvimento tecnológico, seu papel como “ambiente de inovação” (o qual não necessariamente pode ser denominado como “ecossistema” nesse contexto) só se concretizou plenamente devido à sua inserção no ecossistema universitário mais amplo, que proporcionou suporte institucional, redes de colaboração e recursos complementares. Essa constatação é coerente com as reflexões de Zancul, Romeral e Schützer (2022), que destacam que a transformação de uma fábrica de aprendizagem em um ambiente de inovação aberta depende de sua capacidade de articular diferentes *stakeholders* e integrar recursos institucionais e empresariais de forma dinâmica e colaborativa.

Este estudo apresenta algumas limitações. Primeiramente, a análise se centrou em um número reduzido de casos (três EBTs), o que, embora permita uma investigação aprofundada, restringe a generalização dos resultados para outros contextos. Além disso, o estudo focou exclusivamente em uma única fábrica de aprendizagem inserida em um ecossistema universitário específico, o que pode limitar a aplicabilidade das conclusões em ambientes com características institucionais e regionais distintas, bem como em casos de fábricas de aprendizagem voltadas a segmentos mais determinados. Como sugestões para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar a amostra para incluir diferentes fábricas de aprendizagem e ecossistemas universitários, bem como explorar comparativamente ambientes que integram ou

não políticas formais de apoio ao empreendedorismo e à inovação. Sugere-se também investigar longitudinalmente o impacto das fábricas de aprendizagem no ciclo de vida das EBTs, incluindo o acompanhamento de trajetórias empresariais de longo prazo e a análise de fatores críticos de sucesso em diferentes estágios de maturidade tecnológica.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, Rafiq et al. Alberta Learning Factory for training reconfigurable assembly process value stream mapping. **Procedia Manufacturing**, v. 23, p. 237–242, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.023>
- ANAND, Amitabh et al. Knowledge sharing, knowledge transfer and SMEs: evolution, antecedents, outcomes and directions. **Personnel Review**, v. 50, n. 9, p. 1873–1893, 2021. <https://doi.org/10.1108/PR-05-2020-0372>
- ABELE, Eberhard; METTERNICH, Joachim; TISCH, Michael. **Learning Factories: concepts, guidelines, best-practice examples**. Cham: Springer, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4>
- BELLINI, Emilio et al. Collaborative know-how and trust in university–industry collaborations: empirical evidence from ICT firms. **Journal of Technology Transfer**, v. 44, p. 1939–1963, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9655-7>
- CENTEA, Dan et al. Using the SEPT Learning Factory for the implementation of Industry 4.0: case of SMEs. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 102–107, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.079>
- SCHAEFFER, Paola Rücker; GUERRERO, Maribel; FISCHER, Bruno Brandão. Mutualism in ecosystems of innovation and entrepreneurship: A bidirectional perspective on universities' linkages. **Journal of Business Research**, v. 134, p. 184–197, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.05.039>
- VIJAYAN, Kavin Kathires et al. Integration of a case study into a learning factory for future research. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 258–263, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.041>
- WANK, Andreas et al. Using a learning factory approach to transfer Industrie 4.0 approaches to small- and medium-sized enterprises. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 89–94, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.068>
- WIENBRUCH, Thomas et al. Evolution of SMEs towards Industrie 4.0 through a scenario based learning factory training. **Procedia Manufacturing**, v. 23, p. 141–146, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.007>
- ZANCUL, Eduardo de Senzi. **Concepção, implantação e aplicação de uma Fábrica de Aprendizagem voltada para a Indústria 4.0**. 2021. 113 p. Tese (Livre Docência em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

ZANCUL, Eduardo; MARTINS, Henrique O.; LOPES, Fernando P.; SILVA NETO, Fernando A. T. V. da. Machine Vision applications in a Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 516–521, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.069>

ZANCUL, Eduardo; ROMERAL, Pedro A. de A. F.; SCHÜTZER, Klaus. Learning Factory as an Innovation Ecosystem. **Procedia Manufacturing**, v. 54, p. 1–6.

ZANCUL, Eduardo; SILVEIRA, Daniel Kras B. da; SCHÜTZER, Klaus. Learning Factory application in project-based courses: framework and results assessment. **Procedia Manufacturing**, v. 61, p. 28–35, 2023. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4470474>