UFSM

InterAção

ISSN 2357-7975
ACESSO ABERTO

IA., Santa Maria, v. 17, n. 3, e98704, p. 1-31, 2026 • https://dx.doi.org/10.5902/2357797598704
Submissão: 07/09/2026 • Aprovação: 14/09/2026 • Publicação: 02/10/2026

Artigos Dossiê

Capacidades humanas e inovação: fundamentos da autonomia tecnológica no Sul Global

Human capabilities and innovation: foundations of technological autonomy in the Global South

Erlei Melgarejo[I]
Marcelo Viera Pustilnik[I]

[I]Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

Resumo

Este artigo analisa a relação entre formação de capacidades humanas, capacidade de inovação e autonomia tecnológica no Sul Global, considerando suas implicações para a defesa e a segurança. Parte-se do entendimento de que as assimetrias científicas e tecnológicas decorrem não apenas da disponibilidade de recursos ou de potencial humano, mas também das condições para desenvolver e incorporar capacidades aos sistemas científicos, institucionais e produtivos. Por meio de ensaio teórico apoiado em revisão narrativa da literatura, discutem-se capacidades cognitivas relacionadas à inovação e abordagens educacionais que podem favorecer seu desenvolvimento. Sustenta-se que a formação dessas capacidades é necessária, mas insuficiente para produzir inovação ou capacidade tecnológica. Como contribuição analítica, são propostas duas categorias. A conversão sistêmica descreve o processo pelo qual capacidades humanas e conhecimentos distribuídos entre indivíduos são incorporados, articulados e acumulados por instituições, redes e estruturas produtivas. A capacidade efetiva de escolha compreende a autonomia tecnológica como a existência de condições concretas para definir prioridades, avaliar dependências, absorver e adaptar conhecimentos externos, desenvolver alternativas e preservar capacidades próprias em áreas estratégicas. A autonomia depende da articulação entre esses processos: da conversão das capacidades humanas em capacidade científica e tecnológica acumulada e de sua expressão em alternativas estratégicas reais. Conclui-se que a formação humana integra uma infraestrutura de longo prazo cuja contribuição para a autonomia depende das condições que possibilitam sua conversão em capacidade coletiva de inovação e aprendizagem tecnológica.

Palavras-chave: Capacidades humanas; Capacidade de inovação; Autonomia tecnológica; Sul Global; Educação

Artigo publicado por InterAção sob uma licença CC BY-NC-SA 4.0.

Abstract

This article examines the relationship between human capability development, innovation capacity, and technological autonomy in the Global South, considering its implications for defense and security. It argues that scientific and technological asymmetries stem not only from the availability of resources or human potential, but also from the conditions required to develop capabilities and incorporate them into scientific, institutional, and productive systems. Through a theoretical essay supported by a narrative literature review, the article discusses cognitive capabilities related to innovation and educational approaches that may foster their development. It maintains that developing such capabilities is necessary but insufficient to generate innovation or technological capability. As its analytical contribution, the article proposes two categories. Systemic conversion describes the process through which human capabilities and knowledge distributed among individuals are incorporated, articulated, and accumulated by institutions, networks, and productive structures. Effective capacity to choose conceptualizes technological autonomy as the existence of concrete conditions to set priorities, assess dependencies, absorb and adapt external knowledge, develop alternatives, and preserve domestic capabilities in strategic areas. Technological autonomy depends on the articulation between these processes: the conversion of human capabilities into accumulated scientific and technological capability and the expression of that capability in real strategic alternatives. The article concludes that human development constitutes part of a long-term infrastructure whose contribution to autonomy depends on the conditions that enable its conversion into collective innovation capacity and technological learning.

Keywords: Human capabilities; Innovation capacity; Technological autonomy; Global South; Education

1 INTRODUÇÃO

A capacidade de produzir conhecimento, desenvolver tecnologias e transformá-las em inovação ocupa posição estratégica nas sociedades contemporâneas. A expansão da Inteligência Artificial, dos sistemas autônomos, da cibersegurança, das tecnologias de sensoriamento e comunicação, dos novos materiais e de outras tecnologias de uso dual tem ampliado a importância do domínio científico e tecnológico para a competitividade econômica, a soberania, a defesa, a segurança e a capacidade de atuação estratégica dos Estados. Nesse cenário, ciência, tecnologia e inovação deixam de constituir apenas vetores de desenvolvimento econômico e passam a integrar as condições pelas quais as nações constroem capacidade própria de responder a transformações tecnológicas e geopolíticas (UNESCO, 2021; OECD, 2018).

Essa questão assume particular relevância para os países do Sul Global. A distribuição mundial das capacidades científicas e tecnológicas permanece marcada por

profundas assimetrias, observáveis nos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, na concentração de pesquisadores, na infraestrutura científica e na produção e domínio de tecnologias avançadas. Parte significativa dos recursos mundiais destinados à pesquisa e desenvolvimento permanece concentrada em um conjunto relativamente restrito de economias, enquanto numerosos países em desenvolvimento apresentam menor intensidade de investimento científico e tecnológico (UNESCO, 2021; UNESCO INSTITUTE FOR STATISTICS, 2026). Essas diferenças repercutem sobre as possibilidades de produzir, absorver, adaptar e desenvolver tecnologias e adquirem significado particularmente sensível quando alcançam setores considerados estratégicos.

A autonomia tecnológica, por outro lado, não depende exclusivamente da disponibilidade de infraestrutura, recursos financeiros, capacidade industrial ou acesso a tecnologias avançadas. Embora esses elementos sejam indispensáveis, processos de desenvolvimento tecnológico dependem também da acumulação de conhecimentos, capacidades humanas, competências organizacionais e estruturas institucionais capazes de sustentar aprendizagem, absorção, adaptação e inovação (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993; CIRERA; MALONEY, 2017). Possuir ou utilizar uma tecnologia não equivale, portanto, a possuir as capacidades necessárias para compreendê-la, modificá-la, aperfeiçoá-la ou desenvolver alternativas próprias. Essa distinção constitui um dos pontos de partida deste estudo.

Entre as condições que participam da construção dessas capacidades encontra-se uma dimensão anterior à própria materialização da tecnologia: a formação humana. Produção científica e inovação dependem de pessoas capazes de compreender problemas, mobilizar conhecimentos, investigar, formular hipóteses, estabelecer relações, criar possibilidades, avaliar alternativas e aprender diante de situações novas. Criatividade e pensamento crítico, por exemplo, têm sido reconhecidos como capacidades relevantes para a produção de novas ideias e para a resolução de problemas complexos (VINCENT-LANCRIN et al., 2019). Isso não significa estabelecer uma relação linear entre educação e inovação, mas reconhecer que sistemas científicos,

tecnológicos e produtivos dependem, entre outros elementos, das capacidades das pessoas que os constituem.

Essa perspectiva desloca parcialmente a questão sobre as diferenças tecnológicas entre países. Em vez de atribuí-las a supostas diferenças intrínsecas de inteligência ou criatividade entre populações, interessa compreender as condições pelas quais diferentes sociedades identificam, desenvolvem e mobilizam capacidades humanas e as articulam à produção científica, à inovação e à construção de capacidades tecnológicas. A literatura sobre sistemas nacionais de inovação demonstra que esses processos dependem de interações entre pessoas, organizações e instituições, não podendo ser explicados apenas pela existência de indivíduos qualificados (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995).

Assim, a educação participa da formação das capacidades humanas mobilizadas posteriormente na produção científica, na inovação e no desenvolvimento tecnológico. Ao favorecer a compreensão, a investigação, o pensamento crítico e a mobilização do conhecimento, os processos formativos ampliam as possibilidades de atuação diante de situações novas ou complexas (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000; VINCENT-LANCRIN et al., 2019). Sua contribuição para a capacidade de inovação dependerá, posteriormente, das condições institucionais encontradas para incorporar e articular essas capacidades.

Há duas passagens que precisam ser consideradas nessa relação. A primeira ocorre entre as capacidades desenvolvidas pelos indivíduos e a formação de uma capacidade coletiva de inovação. Pessoas qualificadas e conhecimentos disponíveis são indispensáveis, mas seus efeitos dependem das condições encontradas para que possam participar da produção, da circulação e da aplicação do conhecimento. Universidades, empresas, instituições científicas e estruturas governamentais integram esse processo, marcado por interações que não acontecem de maneira automática (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995). Para examinar essa passagem, o artigo propõe a categoria conversão sistêmica. Ela está relacionada ao processo

pelo qual capacidades humanas e conhecimentos inicialmente distribuídos entre indivíduos são reconhecidos, mobilizados e incorporados a organizações, arranjos produtivos, infraestruturas e processos continuados de aprendizagem e inovação. Sua realização depende de capacidades complementares, entre elas competências organizacionais, estruturas institucionais e financiamento (COHEN; LEVINTHAL, 1990; CIRERA; MALONEY, 2017).

A segunda passagem situa-se entre capacidade tecnológica e autonomia. O acesso a tecnologias avançadas pode ampliar capacidades operacionais sem assegurar os conhecimentos e as competências necessários para absorvê-las, adaptá-las, aperfeiçoá-las ou desenvolver alternativas próprias (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993). A questão central, nesse caso, é saber quais possibilidades permanecem realmente disponíveis quando uma sociedade precisa decidir sua trajetória tecnológica. O artigo denomina capacidade efetiva de escolha a existência de condições concretas para definir prioridades, avaliar dependências, mobilizar conhecimentos externos e preservar capacidades próprias em áreas estratégicas. A categoria aproxima a distinção entre recursos disponíveis e possibilidades efetivas de ação, presente na abordagem das capacidades (SEN, 2010), dos estudos sobre capacidades tecnológicas e autonomia estratégica (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993; OECD, 2023).

Este artigo examina como capacidades desenvolvidas no plano individual podem integrar processos coletivos de inovação, acumular-se como capacidade tecnológica e ampliar as possibilidades de escolha dos países do Sul Global em áreas estratégicas de defesa e segurança.

O argumento central é que as assimetrias internacionais em capacidade de inovação existentes não decorrem tão somente da disponibilidade de recursos ou da existência de potencial humano. Elas também refletem as condições institucionais e produtivas que cada sociedade oferece para reconhecer e desenvolver esse potencial, incorporando pessoas e conhecimentos a processos duradouros de produção científica, inovação e aprendizagem tecnológica. O Estado participa desse percurso ao

sustentar investimentos de longo prazo, coordenar atores e orientar a formação de capacidades em áreas estratégicas. Com base nesse entendimento, o estudo procura responder à seguinte questão: em que medida as condições de conversão sistêmica das capacidades humanas ampliam ou limitam a capacidade efetiva de escolha dos países do Sul Global em áreas estratégicas de defesa e segurança?

O estudo foi desenvolvido como ensaio teórico apoiado em revisão narrativa da literatura. As obras foram selecionadas por sua contribuição para compreender a formação de capacidades cognitivas, os sistemas nacionais de inovação, a acumulação de capacidades tecnológicas e as relações entre dependência, desenvolvimento e autonomia no Sul Global. A revisão não busca esgotar a produção disponível nem sintetizar sistematicamente seus resultados. Seu propósito é aproximar esses campos para interpretar o percurso entre formação humana e autonomia tecnológica. Desse diálogo resultam as categorias de conversão sistêmica e capacidade efetiva de escolha.

2 CAPACIDADES HUMANAS E CAPACIDADE DE INOVAÇÃO: FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

A discussão sobre autonomia tecnológica exige distinguir conceitos que, embora relacionados, operam em diferentes níveis. Potencial humano, capacidades humanas, capacidades cognitivas para inovação, capacidade de inovação e capacidade tecnológica não constituem expressões equivalentes. Um indivíduo pode apresentar criatividade, capacidade de abstração ou competência para resolver problemas complexos sem encontrar condições para desenvolver e exercer plenamente essas potencialidades, distinção compatível com a abordagem das capacidades de Sen (2010) e Nussbaum (2011). Da mesma forma, a existência de pesquisadores e profissionais qualificados não assegura, por si só, capacidade coletiva de inovação, que depende das relações estabelecidas entre pessoas, organizações e instituições (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995). Tampouco garante capacidade tecnológica, cuja construção envolve aprendizagem e acumulação de conhecimentos e competências ao longo do tempo

(LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993). Essas diferenças orientam a análise da relação entre formação humana, inovação e autonomia tecnológica.

Neste estudo, capacidades humanas são compreendidas em sentido amplo como possibilidades desenvolvidas e efetivamente exercidas pelos indivíduos para compreender, interpretar e atuar sobre a realidade. Esse viés aproxima-se da abordagem das capacidades formulada por Sen (2010) e desenvolvida por Nussbaum (2011), segundo a qual o desenvolvimento não deve ser avaliado apenas pela disponibilidade de recursos, mas pelas oportunidades efetivas que as pessoas possuem para desenvolver e exercer suas potencialidades. Transposta para o problema aqui analisado, essa compreensão permite distinguir potencial humano de capacidade efetivamente desenvolvida e mobilizada: a existência de potencialidades individuais não significa que existam condições educacionais, sociais e institucionais para seu pleno desenvolvimento e exercício (SEN, 2010; NUSSBAUM, 2011).

No conjunto mais amplo das capacidades humanas, este trabalho focaliza aquelas mobilizadas diante de situações novas ou complexas, denominadas aqui capacidades cognitivas para inovação. A expressão constitui uma categoria analítica do artigo, construída a partir de processos cognitivos discutidos em diferentes campos da literatura. Compreender um problema envolve análise, pensamento crítico e abstração (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001; VINCENT-LANCRIN et al., 2019); investigá-lo pode exigir a formulação de questões e hipóteses, a construção de modelos e a experimentação (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000; LESH; DOERR, 2003). A produção de respostas mobiliza criatividade, avaliação de alternativas e revisão de estratégias diante dos resultados encontrados (VINCENT-LANCRIN et al., 2019). Articuladas, essas capacidades permitem selecionar, relacionar e reorganizar conhecimentos para construir interpretações e soluções quando a resposta não está previamente estabelecida (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000).

A distinção entre possuir conhecimento e ser capaz de mobilizá-lo é particularmente importante. Conhecimentos científicos, técnicos e conceituais constituem recursos

fundamentais para processos cognitivos complexos, mas sua acumulação não garante, unicamente, a capacidade de produzir novas interpretações ou soluções. A aprendizagem com compreensão amplia as possibilidades de transferência do conhecimento para situações distintas daquelas nas quais foi originalmente adquirido (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000), enquanto criatividade e pensamento crítico dependem também dos conhecimentos relacionados aos domínios nos quais são exercidos (VINCENT-LANCRIN et al., 2019). Essa relação encontra paralelo nos estudos sobre inovação: conhecimentos previamente acumulados influenciam a capacidade de reconhecer, assimilar e aplicar novos conhecimentos (COHEN; LEVINTHAL, 1990), enquanto sua interação e combinação participam dos processos de criação de conhecimento (NONAKA; TAKEUCHI, 1995). A questão não está em contrapor conhecimento e capacidades cognitivas, mas em compreender como conhecimentos podem ser mobilizados, relacionados e transformados diante de problemas novos.

Capacidades cognitivas para inovação e capacidade de inovação não são conceitos equivalentes. As primeiras se situam predominantemente no plano individual e dizem respeito às formas pelas quais as pessoas compreendem, investigam, criam e solucionam problemas diante de situações novas ou complexas (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000; VINCENT-LANCRIN et al., 2019). A capacidade de inovação, por sua vez, emerge em escala coletiva e depende da articulação de conhecimentos e capacidades distribuídos entre diferentes atores e instituições (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995). Sua realização envolve a implementação de produtos ou processos novos ou significativamente aprimorados, não apenas a produção de ideias ou conhecimentos (OECD; EUROSTAT, 2018). A literatura sobre sistemas nacionais de inovação demonstra que a inovação possui caráter interativo e depende das relações entre diferentes atores e instituições responsáveis pela produção, circulação e utilização do conhecimento (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995). O Manual de Oslo também caracteriza inovação pela implementação de produtos ou processos novos ou significativamente modificados, distinguindo-a da simples existência de uma ideia ou conhecimento (OECD; EUROSTAT, 2018).

Um terceiro nível precisa ainda ser distinguido: a capacidade tecnológica. Ela não corresponde simplesmente à disponibilidade ou utilização de equipamentos e tecnologias. Lall (1992) compreende capacidades tecnológicas como conhecimentos e competências necessários para adquirir, assimilar, adaptar e desenvolver tecnologias, enquanto Bell e Pavitt (1993) enfatizam sua acumulação por meio de processos de aprendizagem tecnológica. Um país ou organização pode, portanto, utilizar tecnologias avançadas sem possuir, na mesma proporção, capacidades próprias para compreendê-las, modificá-las, aperfeiçoá-las ou desenvolver novas soluções (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993).

As distinções apresentadas situam a formação humana, a inovação e a tecnologia em escalas relacionadas, mas não equivalentes. Capacidades cognitivas são desenvolvidas e exercidas pelos indivíduos; a capacidade de inovação emerge das relações que permitem articular conhecimentos e implementar novas soluções; e a capacidade tecnológica resulta de processos continuados de aprendizagem e acumulação de competências (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995; LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993). A passagem entre essas escalas não ocorre automaticamente. Para os países do Sul Global, importa compreender sob quais condições capacidades humanas e conhecimentos disponíveis são incorporados aos sistemas científicos, institucionais e produtivos e adquirem permanência como capacidade coletiva. É esse percurso que o artigo examina por meio da categoria conversão sistêmica.

3 FORMAÇÃO DE CAPACIDADES COGNITIVAS PARA INOVAÇÃO

Capacidades cognitivas complexas não são atributos estáticos nem resultam apenas da exposição a conteúdos. Embora partam de concepções distintas sobre aprendizagem e desenvolvimento, as contribuições de Piaget (1976), Ausubel (1968), Vygotsky (2007) e Bruner (1960) afastam-se da ideia de que aprender corresponde simplesmente a receber e reproduzir informações. Elas chamam atenção, por diferentes caminhos, para a atividade do sujeito, os conhecimentos já construídos,

as mediações sociais e as experiências envolvidas na aprendizagem. Nesse processo, compreender implica estabelecer relações e reorganizar conhecimentos, criando condições para utilizá-los em situações diferentes daquelas em que foram adquiridos (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000).

3.1 Da reprodução do conhecimento à sua mobilização

Recuperar informações, compreender conceitos e aplicar procedimentos conhecidos cumprem funções necessárias na aprendizagem. Essas atividades consolidam conhecimentos que serão utilizados em tarefas mais complexas, pois analisar uma situação, avaliar alternativas ou produzir uma solução exige domínio do conteúdo relacionado ao problema. A formação torna-se limitada quando se encerra na reprodução de respostas e procedimentos, sem criar oportunidades para que o estudante utilize o que aprendeu em outros contextos (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001; BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000).

A mobilização do conhecimento ganha importância quando a situação não indica previamente quais conceitos são pertinentes nem qual procedimento deverá ser empregado. O estudante precisa interpretar o problema, selecionar recursos cognitivos e estabelecer relações entre conhecimentos construídos em momentos distintos. Essa capacidade de mobilizar recursos diante de situações complexas aproxima-se tanto da noção de competência discutida por Perrenoud (1999) quanto dos estudos sobre transferência da aprendizagem (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000). Criatividade e pensamento crítico participam desse processo, apoiadas nos conhecimentos próprios do campo em que o problema se apresenta (VINCENT-LANCRIN et al., 2019).

Esse trabalho cognitivo raramente segue uma sequência estável. Uma interpretação inicial pode sugerir uma hipótese que, ao ser representada ou testada, revele aspectos ainda não compreendidos. A construção de modelos ajuda a selecionar elementos relevantes e a explicitar relações, enquanto a busca por evidências pode confirmar algumas ideias e exigir a revisão de outras (LESH; DOERR, 2003; NATIONAL

RESEARCH COUNCIL, 2000). Formular possibilidades, experimentá-las e avaliar seus resultados integram, assim, um movimento no qual o conhecimento é reorganizado à medida que o problema se torna mais claro.

O erro adquire valor formativo dentro desse percurso quando oferece elementos para examinar uma hipótese, uma representação ou uma estratégia. Seu aproveitamento depende de feedback, reflexão e revisão do conhecimento (METCALFE, 2017). Os estudos sobre *productive failure* mostram que tentativas iniciais diante de problemas complexos podem favorecer aprendizagens posteriores quando acompanhadas por consolidação e instrução adequadas (KAPUR, 2008; 2016). O que produz aprendizagem é o trabalho realizado sobre o resultado: interpretá-lo, identificar seus limites e reconstruir o caminho seguido.

3.2 Problemas complexos como ambientes de desenvolvimento cognitivo

Problemas complexos criam situações formativas nas quais dados, procedimentos e respostas não estão inteiramente definidos. Para enfrentá-los, o estudante precisa reconhecer o que já sabe, identificar lacunas, selecionar informações, formular perguntas e avaliar possíveis caminhos. Esse tipo de experiência pode ser organizado por meio da Aprendizagem Baseada em Problemas, de abordagens investigativas ou de projetos, conforme o problema oriente a construção do conhecimento, a produção de evidências ou a elaboração de uma resposta concreta (BARROWS, 1986; HMELO-SILVER, 2004; DEWEY, 1933; SCHWAB, 1960; PEDASTE et al., 2015; KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006).

A denominação da abordagem, contudo, não revela por si só o trabalho cognitivo realizado. Um projeto inteiramente conduzido por etapas prescritas pode exigir pouca investigação, enquanto uma atividade mais simples pode mobilizar interpretações, relações entre conhecimentos e confronto de ideias. A contribuição formativa depende das ações efetivamente realizadas pelo estudante e do grau de elaboração cognitiva exigido durante a experiência (CHI; WYLIE, 2014). O aspecto decisivo está na

necessidade de compreender o problema, produzir e examinar possibilidades e rever decisões ao longo do processo.

3.3 Pensamento Computacional como forma de abordar problemas

O Pensamento Computacional (*Computational Thinking* ou PC) constitui uma forma de abordar problemas apoiada em conceitos utilizados pela Ciência da Computação, embora sua aplicação não se limite à programação ou ao uso de tecnologias digitais (WING, 2006). Diante de uma situação complexa, operações como decomposição, reconhecimento de padrões, abstração e modelagem (ou algoritmização) ajudam a distinguir elementos, identificar relações e construir representações do problema. Essas representações orientam a elaboração de procedimentos, a experimentação de caminhos e a avaliação dos resultados encontrados (WING, 2006; SHUTE; SUN; ASBELL-CLARKE, 2017). Para este estudo, sua relevância está na mobilização de processos cognitivos relacionados à investigação e à produção de soluções.

As evidências disponíveis indicam possíveis efeitos formativos, embora apresentem diferenças conceituais, metodológicas e de mensuração. Estudos de revisão encontraram associações entre Pensamento Computacional, criatividade, resolução de problemas e funções cognitivas de ordem superior, com resultados que variam conforme as intervenções, os públicos e os instrumentos utilizados (ISRAEL-FISHELSON; HERSHKOVITZ, 2022; MONTUORI et al., 2024; GÜNALTAY; BALCI; ORHAN ÖZEN, 2025). Esses resultados sustentam sua inclusão entre as abordagens capazes de favorecer capacidades cognitivas para inovação, sem atribuir ao Pensamento Computacional um efeito uniforme ou independente das condições em que as experiências são realizadas.

3.4 Transdisciplinaridade, integração de conhecimentos e STEAM

Outra dimensão relevante para a formação de capacidades cognitivas para inovação encontra-se na possibilidade de articular conhecimentos provenientes de

diferentes campos. Problemas científicos, tecnológicos e sociais complexos raramente se apresentam organizados segundo fronteiras disciplinares e podem exigir conceitos, métodos, linguagens e perspectivas provenientes de diferentes áreas. A transdisciplinaridade assume particular relevância ao propor movimentos entre, através e para além das disciplinas, sem eliminar os conhecimentos disciplinares que lhe fornecem sustentação (NICOLESCU, 2002). O desafio consiste, portanto, em mobilizar diferentes formas de conhecimento quando a natureza do problema ultrapassa as possibilidades explicativas de uma única perspectiva disciplinar.

A educação STEAM reúne Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática em propostas que procuram aproximar conhecimentos e modos de pensar provenientes de diferentes campos. A presença das Artes amplia essa composição ao incorporar outras formas de criação, expressão e representação. A sigla, porém, não designa um modelo educacional único. As áreas podem apenas coexistir em uma mesma atividade ou estabelecer relações mais profundas em experiências interdisciplinares e transdisciplinares.

Essa diversidade aparece na revisão integrativa realizada por Perignat e Katz-Buonincontro (2019). Ao analisarem 44 estudos, as autoras encontraram diferentes interpretações da STEAM, distintos níveis de integração entre as áreas e papéis variados atribuídos às Artes. Criatividade e resolução de problemas apareciam com frequência entre os resultados esperados, mas nem sempre eram efetivamente avaliadas. Desse modo, compreender uma experiência STEAM exige observar como os conhecimentos são articulados e quais atividades os estudantes realizam, e não apenas identificar as áreas mencionadas em sua proposta.

Pustilnik e Mendes (2026) empregam a denominação Pedagogia STEAM para caracterizar um modelo pedagógico no qual a aprendizagem se organiza a partir de problemas, questões ou desafios. Nesse modelo, o professor assume o papel de arquiteto das experiências de aprendizagem: planeja situações-problema, organiza ambientes, seleciona recursos e cria mediações que sustentam a investigação sem

determinar previamente todas as respostas. O estudante participa como autor do percurso, buscando compreender a situação, produzir interpretações e tomar decisões. Conforme o problema se desenvolve, conhecimentos provenientes de diferentes áreas são aproximados segundo sua contribuição para a investigação. As disciplinas continuam oferecendo conceitos, métodos e linguagens próprios, enquanto sua articulação passa a responder às exigências da situação estudada. A transdisciplinaridade emerge desse movimento entre os campos do conhecimento e da necessidade de mobilizá-los diante de um problema compartilhado, ultrapassando a simples presença das cinco áreas reunidas pela sigla STEAM.

Na Pedagogia STEAM, experiências organizadas a partir de problemas podem mobilizar diferentes estratégias conforme as necessidades surgidas durante a investigação (PUSTILNIK; MENDES, 2026). O Pensamento Computacional pode contribuir para representar a situação e organizar procedimentos; a simulação permite explorar cenários; e recursos da Cultura Maker ou da robótica podem apoiar a construção e o teste de soluções. Essas estratégias não constituem componentes obrigatórios nem atuam de forma isolada: adquirem sentido quando ajudam o estudante a compreender o problema e avançar na elaboração de respostas. Seu valor formativo depende da atividade cognitiva efetivamente realizada. Relacionar conhecimentos, confrontar representações e rever decisões produz um envolvimento mais elaborado do que o simples cumprimento de etapas prescritas por uma metodologia (CHI; WYLIE, 2014).

Nesse processo, a criatividade corresponde à produção de possibilidades novas e pertinentes ao problema enfrentado (RUNCO; JAEGER, 2012). Sua contribuição envolve também examinar essas possibilidades à luz dos conhecimentos disponíveis, das evidências produzidas e dos critérios relacionados à situação. Criatividade e pensamento crítico participam, desse modo, de um percurso de elaboração, teste e revisão de ideias (VINCENT-LANCRIN et al., 2019).

As oportunidades de participação nesse percurso não são iguais para todos. Conhecimentos prévios e experiências distintas influenciam a maneira como cada

estudante compreende e enfrenta uma situação (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2000). Ambientes excessivamente homogêneos podem favorecer algumas formas de aprender e deixar outras capacidades pouco reconhecidas. Aplicada a esse problema, a abordagem das capacidades chama atenção para as condições efetivamente disponíveis para que diferentes potencialidades sejam desenvolvidas e exercidas (SEN, 2010). Ampliar essas condições diversifica a base humana disponível à sociedade, embora sua contribuição para a inovação dependa da posterior incorporação dessas capacidades aos sistemas científicos e produtivos.

4 CONVERSÃO SISTÊMICA: DAS CAPACIDADES HUMANAS À CAPACIDADE NACIONAL DE INOVAÇÃO

Na escala nacional, a capacidade de inovação depende das relações que permitem ao conhecimento circular entre universidades, instituições científicas, empresas e estruturas governamentais, alcançar processos produtivos e permanecer acumulado no sistema (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995). Resultados científicos podem permanecer restritos ao ambiente em que foram produzidos ou integrar trajetórias de desenvolvimento tecnológico, conforme encontrem financiamento, infraestrutura e oportunidades continuadas de aplicação e aprendizagem. É nesse percurso que organizações acumulam competências para utilizar, adaptar e desenvolver tecnologias (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993). A mesma exigência se aplica aos conhecimentos externos: sua disponibilidade cria oportunidades, mas o aproveitamento depende de uma base prévia que permita reconhecer seu valor, assimilá-los e incorporá-los às práticas locais (COHEN; LEVINTHAL, 1990). Nos países em desenvolvimento, a ausência de capacidades humanas, organizacionais e institucionais complementares ajuda a explicar por que o acesso a tecnologias existentes nem sempre produz aprendizagem ou inovação duradoura (CIRERA; MALONEY, 2017).

A formação interna de pesquisadores e profissionais especializados não assegura sua incorporação à capacidade nacional de inovação. Quando faltam

oportunidades de atuação, continuidade institucional e vínculos com organizações produtivas, as competências formadas podem permanecer subutilizadas ou deslocar-se para outros países (WORLD BANK, 2023). Problema semelhante ocorre quando a produção científica permanece concentrada nas universidades e encontra empresas sem estrutura para absorver, adaptar e aplicar o conhecimento produzido. Nesse caso, a ampliação da pesquisa não se traduz necessariamente em inovação e pode acentuar a distância entre a capacidade científica existente e a capacidade tecnológica do sistema produtivo. A transformação do conhecimento científico em aplicações tecnológicas não segue uma trajetória automática ou linear; depende da interação entre pesquisa, produção, aprendizagem e uso social, além da capacidade das organizações de reconhecer, assimilar e explorar conhecimentos externos (ROSENBERG, 1990; COHEN; LEVINTHAL, 1990; LUNDVALL, 1992). A circulação internacional e o retorno de profissionais podem favorecer redes e transferência de conhecimentos, desde que existam instituições e estruturas produtivas capazes de receber, mobilizar e acumular sua experiência (KATSELI; LUCAS; XENOGIANI, 2006; OECD, 2008).

4.1 Conversão sistêmica: conceito, mecanismos e limites

Um país pode formar pesquisadores, ampliar sua produção científica e desenvolver conhecimentos relevantes sem conseguir transformá-los, na mesma proporção, em inovação ou capacidade tecnológica. Essa distância entre capacidades disponíveis e resultados coletivos constitui o problema da conversão. Cirera e Maloney (2017) demonstram que oportunidades de *catching-up* tecnológico permanecem subaproveitadas quando faltam capacidades complementares, como competências organizacionais e gerenciais, financiamento, infraestrutura e condições institucionais. A dificuldade, portanto, não está necessariamente na inexistência de potencial humano ou conhecimento, mas na insuficiência dos mecanismos capazes de incorporá-los a processos cumulativos de inovação e aprendizagem tecnológica.

A expressão conversão sistêmica designa, neste estudo, a passagem pela qual

capacidades humanas e conhecimentos inicialmente dispersos adquirem expressão coletiva em práticas científicas, organizacionais e produtivas. Essa passagem ocorre quando pessoas e conhecimentos encontram condições para participar de projetos continuados, circular entre instituições e permanecer incorporados às experiências e competências construídas ao longo do tempo.

O caráter sistêmico decorre das conexões necessárias entre formação, pesquisa, produção e ação pública. Uma capacidade desenvolvida no plano individual pode perder-se quando não encontra condições institucionais para ser exercida. Da mesma forma, um conhecimento produzido no ambiente científico pode não alcançar processos de aprendizagem tecnológica. A conversão depende da continuidade das relações que aproximam esses diferentes espaços e permitem que experiências isoladas se acumulem como capacidade coletiva (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995).

Essas conexões não resultam apenas da aproximação espontânea entre universidades, empresas e instituições científicas. Em atividades que exigem investimentos elevados, aprendizagem prolongada e coordenação entre diferentes atores, o Estado pode financiar pesquisas, sustentar infraestruturas, formar demanda por meio das compras públicas e orientar esforços para áreas consideradas estratégicas.

No Brasil, a encomenda tecnológica constitui um exemplo dessa atuação. Previsto na Lei nº 10.973/2004 e regulamentado pelo Decreto nº 9.283/2018, o instrumento permite ao poder público contratar atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação destinadas à solução de um problema técnico específico ou à obtenção de produto, serviço ou processo inovador que envolva risco tecnológico. A contratação pode ocorrer diretamente, por dispensa de licitação, conforme o art. 75, inciso V, da Lei nº 14.133/2021, sem afastar a necessidade de processo administrativo, justificativa da escolha do contratado e observância dos demais requisitos legais. O risco tecnológico integra a própria caracterização da encomenda, pois o desenvolvimento pretendido envolve incertezas que podem impedir o alcance integral do resultado. Esse instrumento mostra como a ação pública pode aproximar necessidades sociais

ou estratégicas da produção científica e tecnológica, compartilhando riscos e criando condições para que conhecimentos e capacidades sejam incorporados a projetos concretos (BRASIL, 2004, 2018, 2021).

Furtado (1961) relaciona a superação do subdesenvolvimento à transformação planejada das estruturas produtivas, enquanto Evans (1995) mostra que a ação estatal depende da capacidade de suas instituições e de sua articulação com os setores produtivos. Mazzucato (2014) destaca a participação pública no financiamento e na assunção dos riscos presentes em trajetórias tecnológicas de longo prazo. No caso chinês, Jabbour e Dantas (2021) examinam como capacidades estatais acumuladas e novas formas de planejamento participam da coordenação do desenvolvimento produtivo e tecnológico. O Estado integra, assim, a conversão sistêmica quando cria condições para que capacidades dispersas sejam incorporadas a projetos duradouros e orientadas por prioridades nacionais.

A literatura sobre formação de capacidades, sistemas nacionais de inovação e aprendizagem tecnológica permite reconhecer quatro operações interdependentes na conversão sistêmica: desenvolvimento, incorporação, articulação e acumulação (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995; LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993; CIRERA; MALONEY, 2017). O desenvolvimento cria condições para que capacidades humanas e cognitivas sejam formadas e exercidas. Seu alcance coletivo começa a se tornar possível quando pessoas e conhecimentos encontram espaços de participação em instituições, organizações e projetos. Esse movimento corresponde à incorporação e marca a entrada das capacidades distribuídas em contextos nos quais podem contribuir para atividades científicas, inovadoras e produtivas.

A incorporação, porém, não encerra o processo. Capacidades presentes em diferentes espaços precisam estabelecer relações com infraestrutura, financiamento, demandas sociais e estruturas produtivas. A articulação expressa essa conexão e pode ser sustentada por políticas públicas capazes de coordenar atores e recursos em torno de prioridades de longo prazo.

Quando tais relações permanecem ao longo do tempo, experiências e conhecimentos deixam de se encerrar em iniciativas isoladas e passam a integrar competências organizacionais e tecnológicas mais duradouras. É nesse movimento que ocorre a acumulação. As quatro operações não formam uma sequência rígida: aprendizagens acumuladas podem abrir novas possibilidades de desenvolvimento, assim como falhas de incorporação ou articulação podem limitar todo o percurso. A conversão sistêmica depende da continuidade dessas relações para que capacidades individuais contribuam para a formação de capacidade coletiva de inovação e capacidade tecnológica.

A falha de conversão aparece quando capacidades e conhecimentos não encontram condições para permanecer no sistema. Profissionais qualificados podem dispor de poucos espaços de atuação, enquanto resultados produzidos nas universidades deixam de alcançar organizações para desenvolvê-los ou aplicá-los. Empresas, por sua vez, podem adquirir tecnologias externas sem formar equipes e rotinas que permitam compreendê-las e adaptá-las. Interrupções no financiamento e mudanças descontínuas nas políticas públicas agravam essas dificuldades: pesquisas são interrompidas, vínculos com a produção se desfazem e aprendizagens permanecem restritas a iniciativas isoladas. É nesses intervalos que capacidades existentes deixam de se acumular como capacidade tecnológica coletiva.

A ideia de conversão sistêmica é construída, neste artigo, a partir do diálogo entre dois fatores. Os estudos sobre capacidade de absorção mostram que conhecimentos previamente acumulados influenciam a possibilidade de reconhecer, assimilar e aplicar conhecimentos externos (COHEN; LEVINTHAL, 1990). A abordagem dos sistemas nacionais de inovação desloca o olhar para as relações entre os atores e as instituições envolvidos na produção, circulação e utilização do conhecimento (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995). Essas contribuições ajudam a compreender, respectivamente, as condições internas de aprendizagem e o caráter interativo da inovação.

No encontro entre essas perspectivas surge a questão que orienta a conversão sistêmica: o que acontece entre a existência de capacidades humanas e conhecimentos distribuídos e sua permanência como capacidade coletiva? O conceito focaliza esse percurso. Seu interesse está em acompanhar como essas capacidades encontram espaços de atuação, estabelecem relações e se incorporam a experiências institucionais, organizacionais e tecnológicas duradouras. A conversão sistêmica procura, assim, tornar visíveis tanto os movimentos que sustentam essa passagem quanto os pontos nos quais ela pode ser interrompida.

A conversão sistêmica permite compreender por que sociedades com potencial humano e produção científica relevantes podem permanecer tecnologicamente dependentes. Quando capacidades não são incorporadas, articuladas e acumuladas, o conhecimento produzido não se transforma plenamente em capacidade de inovação ou aprendizagem tecnológica duradoura. O problema dos países do Sul Global não pode ser reduzido à formação de pessoas ou à ampliação isolada dos investimentos em pesquisa. Ele envolve a construção de sistemas capazes de conservar e transformar essas capacidades em alternativas tecnológicas reais. É nesse ponto que a conversão sistêmica se conecta à autonomia: sem capacidade tecnológica acumulada, a possibilidade de escolha permanece limitada.

5 ASSIMETRIAS, DEPENDÊNCIA E AUTONOMIA TECNOLÓGICA NO SUL GLOBAL

As diferenças de capacidade tecnológica entre países não decorrem apenas do volume de investimentos em educação, ciência ou pesquisa e desenvolvimento. A tradição estruturalista latino-americana mostrou que a geração, a difusão e a apropriação do progresso técnico ocorrem de maneira desigual entre economias centrais e periféricas, produzindo condições distintas para incorporar seus benefícios e construir capacidades próprias (PREBISCH, 1949; NASSIF, 2024). Essa perspectiva permanece relevante para compreender assimetrias tecnológicas contemporâneas.

O Sul Global, entretanto, não constitui um conjunto homogêneo. A expressão reúne países com trajetórias históricas, estruturas produtivas, sistemas científicos e capacidades industriais muito diferentes, funcionando mais como uma categoria relacional do que como uma delimitação estritamente geográfica (DADOS; CONNELL, 2012). Neste artigo, seu emprego identifica uma posição compartilhada por numerosas sociedades que participam de forma assimétrica dos processos internacionais de produção, apropriação e controle do conhecimento e da tecnologia, sem apagar as diferenças existentes entre elas (QUIJANO, 2000; UNCTAD, 2025).

5.1 Dependência tecnológica como dependência de capacidades

A dependência tecnológica pode coexistir com o uso intensivo de tecnologias avançadas. Um país pode operar equipamentos e sistemas sofisticados e, ainda assim, depender de fornecedores externos para obter componentes, realizar atualizações, corrigir falhas ou modificar seu funcionamento. Quando os conhecimentos e as competências necessários a essas atividades permanecem fora de suas instituições e estruturas produtivas, a continuidade da operação fica condicionada a decisões tomadas em outros lugares. Essa situação evidencia a diferença entre acesso e capacidade tecnológica. O acesso possibilita adquirir ou utilizar uma tecnologia; a capacidade tecnológica permite compreendê-la, operá-la, absorvê-la e adaptá-la, alcançando, em níveis mais avançados, seu aperfeiçoamento ou o desenvolvimento de soluções próprias (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993).

Essa diferença adquire especial importância nos processos de *catching-up* do Sul Global. A aquisição de uma tecnologia pode responder rapidamente a uma necessidade operacional, mas seus efeitos de longo prazo dependem da aprendizagem produzida durante sua incorporação. Contratos, treinamento, participação de equipes e empresas nacionais, acesso ao conhecimento técnico e continuidade dos projetos influenciam aquilo que permanecerá no país após a aquisição. No campo da defesa, acordos de *offset* podem vincular compras externas a compensações industriais, tecnológicas ou

comerciais, incluindo formação especializada, produção local, cooperação em pesquisa e transferência de conhecimentos. Esses mecanismos, contudo, somente contribuem para o *catching-up* quando encontram instituições e estruturas produtivas capazes de absorver, adaptar e acumular o conhecimento recebido. Sem essas condições, o *offset* pode cumprir formalmente o contrato sem produzir aprendizagem tecnológica real e duradoura. O *catching-up* torna-se relevante para a autonomia quando o acesso externo amplia capacidades nacionais e reduz dependências futuras, em vez de apenas atender a uma necessidade imediata (COHEN; LEVINTHAL, 1990; LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993; MODESTI, 2004).

5.2 Conhecimento, poder e definição de prioridades

As assimetrias tecnológicas também alcançam a produção e a legitimação do conhecimento. O conceito de colonialidade do poder permite examinar como relações constituídas pela experiência colonial continuam presentes nas formas de produzir e reconhecer conhecimentos (QUIJANO, 2000). Essa perspectiva introduz uma questão decisiva para a autonomia: quem dispõe de condições para definir os problemas considerados prioritários, as agendas que receberão recursos e os conhecimentos reconhecidos como relevantes? Para países situados em posições periféricas, o desafio envolve tanto incorporar o progresso técnico quanto construir capacidade para produzi-lo e orientá-lo segundo necessidades próprias (PREBISCH, 1949).

5.3 Autonomia tecnológica como capacidade efetiva de escolha

A autonomia tecnológica é construída em um cenário de interdependência. Conhecimentos, componentes e tecnologias circulam por redes internacionais de pesquisa, produção e fornecimento, o que torna pouco plausível avaliar a autonomia pelo grau de isolamento de um país. O aspecto decisivo está na margem de ação preservada nessas relações. Uma sociedade pode utilizar sistemas avançados e, ainda assim, depender continuamente de agentes externos para compreendê-los, modificá-

los, atualizá-los ou substituí-los. Os estudos sobre capacidades tecnológicas mostram que o domínio depende de aprendizagem, absorção e acumulação de competências, e não somente do acesso aos artefatos (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993; OECD, 2023).

Para analisar essa margem de ação, o artigo propõe compreender a autonomia tecnológica em termos de capacidade efetiva de escolha. Ela corresponde às condições concretas que permitem definir prioridades tecnológicas, reconhecer vulnerabilidades e agir diante das dependências existentes. O termo "efetiva" distingue a autoridade formal para tomar uma decisão da possibilidade real de executá-la. Um país pode possuir soberania jurídica sobre suas políticas e encontrar poucas alternativas viáveis quando lhe faltam conhecimentos, infraestrutura, competências ou fornecedores substitutos. A dependência tecnológica torna-se estratégica quando reduz não apenas aquilo que um país consegue produzir, mas também aquilo que consegue decidir. Essa formulação aproxima a noção de liberdade sustentada por oportunidades reais, presente em Sen (2010), das capacidades complementares necessárias à aprendizagem e à inovação discutidas por Cirera e Maloney (2017).

Essa capacidade se revela nas decisões que uma sociedade consegue sustentar. Definir prioridades exige identificar os conhecimentos e as tecnologias mais sensíveis aos seus objetivos; avaliar dependências implica reconhecer os riscos associados a fornecedores, componentes e competências externas. A absorção permite compreender e adaptar conhecimentos provenientes de outros contextos, enquanto o desenvolvimento de alternativas reduz a exposição a soluções insubstituíveis. Preservar capacidades próprias, por fim, mantém disponíveis competências consideradas estratégicas mesmo quando parte da produção permanece integrada a redes internacionais (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993). Essas dimensões não constituem uma sequência fixa. Elas se combinam de maneira diferente conforme a área tecnológica e a posição ocupada pelo país nas redes de conhecimento e produção.

A definição de prioridades assume especial importância nos países do Sul Global, cujos recursos científicos, tecnológicos e financeiros dificilmente permitem acompanhar

todas as frentes de desenvolvimento. A concentração internacional das tecnologias de fronteira reforça a necessidade de escolher em que áreas formar pessoas, manter infraestrutura, acumular conhecimento e desenvolver capacidade produtiva (UNCTAD, 2025). A definição e a continuidade dessas prioridades dependem de capacidade estatal para coordenar políticas científicas, educacionais, industriais e tecnológicas, mantendo investimentos cujos resultados podem ultrapassar os horizontes imediatos do mercado (EVANS, 1995; MAZZUCATO, 2014). Isso não implica rejeitar tecnologias ou conhecimentos externos. Significa possuir condições para selecioná-los, compreendê-los e incorporá-los segundo necessidades próprias, preservando alternativas quando dependências externas ameaçam objetivos estratégicos (OECD, 2023). A autonomia tecnológica não se mede, portanto, pela quantidade de tecnologias disponíveis, mas pela capacidade de orientar sua adoção e sustentar escolhas ao longo do tempo.

A formação humana se relaciona com a autonomia tecnológica por meio de um percurso institucional. Conhecimentos e capacidades inicialmente distribuídos entre indivíduos precisam circular, combinar-se e permanecer incorporados às instituições para adquirir expressão coletiva e integrar a capacidade científica e tecnológica de uma sociedade (LUNDVALL, 1992; LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993). Essa acumulação amplia a autonomia quando sustenta prioridades próprias, permite avaliar dependências e oferece alternativas diante de restrições externas. A capacidade efetiva de escolha expressa essa margem concreta de ação, apoiada em recursos, conhecimentos e instituições capazes de transformar decisões formais em possibilidades realizáveis (SEN, 2010; CIRERA; MALONEY, 2017). A autonomia emerge, portanto, quando a conversão das capacidades humanas também amplia os caminhos tecnológicos que uma sociedade pode escolher e sustentar.

No campo da defesa e da segurança, a autonomia tecnológica assume caráter estratégico porque dependências externas podem alcançar conhecimentos, componentes, softwares, dados, manutenção e atualização de sistemas críticos (OECD, 2023). A aquisição de uma tecnologia pode ampliar a capacidade operacional imediata

sem produzir domínio ou aprendizagem duradoura. Uma escolha efetiva exige condições para avaliar suas implicações, integrar o sistema às estruturas nacionais, absorver conhecimentos e preservar alternativas futuras (COHEN; LEVINTHAL, 1990; LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1993). Para os países do Sul Global, não se trata de produzir internamente todas as tecnologias utilizadas em defesa, mas de reconhecer quais dependências ameaçam sua margem de decisão e em quais áreas precisam conservar capacidades próprias. A autonomia tecnológica em defesa começa antes do artefato: começa na formação das capacidades que permitirão compreendê-lo, avaliá-lo, modificá-lo, sustentá-lo e, quando necessário, substituí-lo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo procurou compreender como capacidades humanas desenvolvidas no plano individual podem contribuir para a autonomia tecnológica de uma sociedade. O percurso realizado mostrou que essa relação depende das condições encontradas por pessoas e conhecimentos para participar de instituições, arranjos produtivos, infraestruturas, redes e processos continuados de aprendizagem. Nesse percurso, o Estado pode exercer uma função indutora ao coordenar instituições, sustentar investimentos e assegurar continuidade às políticas de formação, ciência, tecnologia e produção. O termo conversão sistêmica foi formulado para analisar esse movimento. Desenvolvimento, incorporação, articulação e acumulação fazem parte de um processo no qual capacidades inicialmente distribuídas podem adquirir expressão coletiva. Quando esse processo é interrompido, a existência de pessoas qualificadas, produção científica ou acesso a tecnologias pode coexistir com capacidades nacionais frágeis e descontínuas.

A autonomia tecnológica também precisa ser examinada a partir das possibilidades concretas de ação disponíveis. Produzir internamente todas as tecnologias não constitui uma condição viável nem necessária; o aspecto decisivo está na capacidade de definir prioridades, avaliar dependências, incorporar conhecimentos

externos e preservar competências em áreas estratégicas. É nesse sentido que o artigo propõe compreendê-la como capacidade efetiva de escolha. Essa margem de decisão resulta das capacidades acumuladas por uma sociedade, mas não decorre automaticamente delas: conhecimentos, competências e infraestrutura precisam ser mobilizados na construção de alternativas científicas, produtivas e tecnológicas. A conversão sistêmica encontra seu alcance estratégico quando amplia aquilo que um país pode efetivamente decidir.

Para os países do Sul Global, essa discussão evidencia que a autonomia se constrói ao longo do tempo e envolve formação humana, aprendizagem tecnológica, continuidade institucional e capacidade produtiva. No campo da defesa e da segurança, a aquisição de tecnologias críticas pode ampliar a capacidade operacional imediata sem produzir domínio tecnológico ou alternativas futuras. A dependência torna-se estratégica quando reduz não apenas aquilo que um país consegue produzir, mas também aquilo que consegue decidir. Por isso, a autonomia começa antes do artefato: começa na formação de pessoas, na incorporação de conhecimentos e na construção de instituições capazes de aprender, acumular capacidades e preservar a possibilidade de escolher a própria trajetória tecnológica.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, Lorin W.; KRATHWOHL, David R. (ed.). **A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives**. New York: Longman, 2001.

AUSUBEL, David P. **Educational psychology**: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BARROWS, Howard S. A taxonomy of problem-based learning methods. **Medical Education**, v. 20, n. 6, 1986. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x.

BELL, Martin; PAVITT, Keith. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. **Industrial and Corporate Change**, v. 2, n. 2, 1993. DOI: https://doi.org/10.1093/icc/2.2.157.

BRANSFORD, John D.; BROWN, Ann L.; COCKING, Rodney R. (ed.). **How people learn**: brain, mind, experience, and school. Expanded ed. Washington, DC: National Academy Press, 2000.

BRASIL. Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 3 dez. 2004.

BRASIL. Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018. Regulamenta a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, e estabelece medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 8 fev. 2018.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 1º abr. 2021.

BRUNER, Jerome S. **The process of education**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1960.

CHI, Michelene T. H.; WYLIE, Ruth. The ICAP framework: linking cognitive engagement to active learning outcomes. **Educational Psychologist**, v. 49, n. 4, 2014. DOI: https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823.

CIRERA, Xavier; MALONEY, William F. **The innovation paradox**: developing-country capabilities and the unrealized promise of technological catch-up. Washington, DC: World Bank, 2017. DOI: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1160-9.

COHEN, Wesley M.; LEVINTHAL, Daniel A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n. 1, 1990. DOI: https://doi.org/10.2307/2393553.

DADOS, Nour; CONNELL, Raewyn. The Global South. **Contexts**, [s. l.], v. 11, n. 1, 2012. DOI: https://doi.org/10.1177/1536504212436479.

DEWEY, John. **How we think**: a restatement of the relation of reflective thinking to the educative process. Boston: D. C. Heath and Company, 1933.

EVANS, Peter. **Embedded autonomy**: states and industrial transformation. Princeton: Princeton University Press, 1995.

FREEMAN, Chris. The "National System of Innovation" in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v. 19, n. 1, 1995. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035309.

FURTADO, Celso. **Desenvolvimento e subdesenvolvimento**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

GÜNALTAY, Münire İrem; BALCI, Sıla; ORHAN ÖZEN, Sevil. The effect of computational thinking on creativity: a meta-analysis for teaching strategies. **Pedagogical Perspective**, v. 4, n. 2, 2025. DOI: https://doi.org/10.29329/pedper.2025.125.

HMELO-SILVER, Cindy E. Problem-based learning: what and how do students learn? **Educational Psychology Review**, v. 16, n. 3, 2004. DOI: https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3.

ISRAEL-FISHELSON, Rotem; HERSHKOVITZ, Arnon. Studying interrelations of computational thinking and creativity: a scoping review (2011-2020). **Computers & Education**, v. 176, art. 104353, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104353.

JABBOUR, Elias; DANTAS, Alexis. Ignacio Rangel na China e a "Nova Economia do Projetamento". **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 30, n. 2, maio/ago. 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1982-3533.2021v30n2art01.

KAPUR, Manu. Productive failure. **Cognition and Instruction**, v. 26, n. 3, 2008. DOI: https://doi.org/10.1080/07370000802212669.

KAPUR, Manu. Examining productive failure, productive success, unproductive failure, and unproductive success in learning. **Educational Psychologist**, v. 51, n. 2, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/00461520.2016.1155457.

KATSELI, Louka T.; LUCAS, Robert E. B.; XENOGIANI, Theodora. **Effects of migration on sending countries**: what do we know? Paris: OECD Publishing, 2006. (OECD Development Centre Working Papers, n. 250). DOI: https://doi.org/10.1787/424438382246.

KRAJCIK, Joseph S.; BLUMENFELD, Phyllis C. Project-based learning. In: SAWYER, R. Keith (ed.). **The Cambridge handbook of the learning sciences**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

LALL, Sanjaya. Technological capabilities and industrialization. **World Development**, v. 20, n. 2, 1992. DOI: https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90097-F.

LESH, Richard; DOERR, Helen M. (ed.). **Beyond constructivism**: models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

LUNDVALL, Bengt-Åke (ed.). **National systems of innovation**: towards a theory of innovation and interactive learning. London: Pinter Publishers, 1992.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado empreendedor**: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

METCALFE, Janet. Learning from errors. **Annual Review of Psychology**, v. 68, 2017. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044022.

MODESTI, Ancelmo. **Panorama dos offsets no Brasil**: uma visão da negociação internacional de acordos de compensação comercial, industrial e tecnológica. Brasília, DF: Livraria Suspensa, 2004.

MONTUORI, Chiara; GAMBAROTA, Filippo; ALTOÉ, Gianmarco; ARFÉ, Barbara. The cognitive effects of computational thinking: a systematic review and meta-analytic study. **Computers**

& Education, v. 210, art. 104961, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104961.

NASSIF, André. The centre-periphery model and the political economy of the Economic Commission for Latin America and the Caribbean: past and present. **CEPAL Review**, n. 144, dez. 2024. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/handle/11362/81705.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Inquiry and the National Science Education Standards**: a guide for teaching and learning. Washington, DC: National Academy Press, 2000.

NICOLESCU, Basarab. *Manifesto of transdisciplinarity*. Albany: State University of New York Press, 2002.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. **The knowledge-creating company**: how Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press, 1995.

NUSSBAUM, Martha C. **Creating capabilities**: the human development approach. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press, 2011.

OECD. **The global competition for talent**: mobility of the highly skilled. Paris: OECD Publishing, 2008.

OECD. **OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018**: adapting to technological and societal disruption. Paris: OECD Publishing, 2018.

OECD. **OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023**: enabling transitions in times of disruption. Paris: OECD Publishing, 2023. DOI: https://doi.org/10.1787/0b55736e-en.

OECD; EUROSTAT. **Oslo manual 2018**: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. 4. ed. Paris: OECD Publishing; Luxembourg: Eurostat, 2018. DOI: https://doi.org/10.1787/9789264304604-en.

PEDASTE, Margus et al. Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review**, v. 14, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003.

PERIGNAT, Elaine; KATZ-BUONINCONTRO, Jen. STEAM in practice and research: an integrative literature review. **Thinking Skills and Creativity**, v. 31, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002.

PERRENOUD, Philippe. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

PIAGET, Jean. **A equilibração das estruturas cognitivas**: problema central do desenvolvimento. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PREBISCH, Raúl. **El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemas**. Santiago: Comisión Económica para América Latina, 1949.

PUSTILNIK, Marcelo Vieira; MENDES, Solange. **Pedagogia STEAM**: um modelo pedagógico disruptivo para escolas inovadoras. Pau dos Ferros, RN: Edições AINPGP, 2026. ISBN 978-65-87527-53-6. DOI: https://doi.org/10.57242/ApSTEAM001.

QUIJANO, Aníbal. Colonialidad del poder, eurocentrismo y América Latina. *In*: LANDER, Edgardo (org.). **La colonialidad del saber: eurocentrismo y ciencias sociales**: perspectivas latinoamericanas. Buenos Aires: CLACSO, 2000.

ROSENBERG, Nathan. Why do firms do basic research (with their own money)? **Research Policy**, Amsterdam, v. 19, n. 2, 1990. DOI: https://doi.org/10.1016/0048-7333(90)90046-9.

RUNCO, Mark A.; JAEGER, Garrett J. The standard definition of creativity. **Creativity Research Journal**, v. 24, n. 1, 2012. DOI: https://doi.org/10.1080/10400419.2012.650092.

SCHWAB, Joseph J. Inquiry, the science teacher, and the educator. **The School Review**, v. 68, n. 2, 1960.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

SHUTE, Valerie J.; SUN, Chen; ASBELL-CLARKE, Jodi. Demystifying computational thinking. **Educational Research Review**, v. 22, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003.

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **Technology and Innovation Report 2025**: inclusive artificial intelligence for development. Geneva: United Nations, 2025. Disponível em: https://unctad.org/publication/technology-and-innovation-report-2025.

UNESCO. *UNESCO* **Science Report**: the race against time for smarter development. SCHNEEGANS, Susan; STRAZA, Tiffany; LEWIS, Jake (ed.). Paris: UNESCO Publishing, 2021. ISBN 978-92-3-100450-6.

UNESCO INSTITUTE FOR STATISTICS. **2026 R&D data release**: new insights on global investment, researchers and gender gaps. Montreal: UNESCO Institute for Statistics, 2026. Disponível em: https://www.uis.unesco.org/en/2026-rd-data-release.

VINCENT-LANCRIN, Stéphan et al. **Fostering students' creativity and critical thinking**: what it means in school. Paris: OECD Publishing, 2019. DOI: https://doi.org/10.1787/62212c37-en.

VYGOTSKY, Lev S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WING, Jeannette M. Computational thinking. **Communications of the ACM**, v. 49, n. 3, 2006. DOI: https://doi.org/10.1145/1118178.1118215.

WORLD BANK. **World Development Report 2023**: migrants, refugees, and societies. Washington, DC: World Bank, 2023. DOI: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1941-4.

Autoria

1 Erlei Melgarejo

Graduação em Estudos Sociais pela Fundação Educacional de Alegrete; Graduação em Análise de Sistemas pela Sociedade de Ensino de Informática Campograndense; Pós-graduado em Criptografia e Segurança de Redes pela Universidade Federal Fluminense; Pós-graduado em Neurociência, em Inteligência Artificial, em Robótica Educacional, em UX e UI na Educação pela Faculdade do Vale do Aço; Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina; Foi coordenador e professor no Curso de Sistemas de Informação e professor no curso de Administração na Faculdade Antônio Meneghetti; Diretor de Tecnologia na Empresa Melgarejo Sistemas Digitais (Defii Atelie de Software) e Kreska Tecnologia Educacional; Doutorando em Educação em Ciência

https://orcid.org/0009-0005-5768-3142 • emelgarejo@gmail.com

2 Marcelo Viera Pustilnik

Graduado em Pedagogia pela Universidade Estadual de Campinas; Mestre em Ensino e História de Ciências da Terra pela Universidade Estadual de Campinas; Doutor em Educação pela Universidade Estadual de Campinas; Pós-Doutor em Inovação Pedagógica pela Universidade do Porto; Professor

https://orcid.org/0000-0002-1139-5154 • marcelo.pustilnik@ufsm.br

Como citar este artigo

MELGAREJO, E.; PUSTILNIK, M. V. Capacidades humanas e inovação: fundamentos da autonomia tecnológica no Sul Global. **InterAção**, Santa Maria, v. 17, n. 3, e98704, p. 1-31, 2026. DOI 10.5902/2357797598704. Disponível em: https://dx.doi.org/10.5902/2357797598704. Acesso em: dia mês abreviado. ano.

Declaração

Em conformidade com a Portaria CNPq nº 2.664/2026, os autores declaram o uso de ferramentas de Inteligência Artificial Generativa (IAG) Como apoio às etapas de elaboração do manuscrito, foram utilizados sistemas de Inteligência Artificial generativa para auxiliar na revisão linguística e estilística, verificação de consistência textual, organização e normalização das referências bibliográficas, bem como na identificação de inconsistências formais. O emprego dessas ferramentas restringiu-se ao suporte técnico ao processo de escrita e revisão, não sendo utilizado para a formulação das hipóteses, construção do referencial teórico, interpretação da literatura ou elaboração das conclusões. A seleção das fontes, a análise crítica dos estudos e a responsabilidade integral pelo conteúdo científico permaneceram sob responsabilidade dos autores.