



Sistemas Ciberfísicos na formação de Engenheiros: orientações para o planejamento de ambientes e atividades laboratoriais

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5257

Autores: LUCAS RIBEIRO MATA, HADASSA HARUMI CASTELO ONISAKI, ROSELI DE DEUS LOPES

Resumo: *A integração de tecnologias digitais nos mais diversos setores produtivos e no cotidiano das pessoas tem transformado profundamente a economia e a sociedade. Os sistemas de engenharia têm evoluído consideravelmente com a incorporação de elementos computacionais em diferentes níveis, criando uma nova geração conhecida como sistemas ciberfísicos. Este artigo investiga os objetivos de aprendizagem e as competências necessárias para a concepção, implementação e operação desses sistemas. O estudo baseou-se na condução de revisão da literatura, análise de competências na formação em engenharia e estratégias de aprendizagem ativa aplicadas à engenharia. Foram propostas diretrizes pedagógicas para auxiliar educadores na criação de ambientes e atividades laboratoriais que promovam a aprendizagem ativa, visando preparar engenheiros no contexto dos sistemas ciberfísicos.*

Palavras-chave: *sistemas ciberfísicos, atividades em laboratório*

Sistemas Ciberfísicos na formação de Engenheiros: orientações para o planejamento de ambientes e atividades laboratoriais

1- INTRODUÇÃO

A difusão das tecnologias digitais na vida cotidiana e nas atividades produtivas ocasionaram mudanças profundas na economia. Esse processo de disrupção é frequentemente conhecido como quarta revolução industrial, caracterizado pelo desenvolvimento e aplicação de tecnologias avançadas como computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT), Biologia Sintética, Big Data, Realidade Virtual, Impressão 3D, Inteligência Artificial e Sistemas Ciberfísicos. Diferente de revoluções industriais anteriores, o atual processo de transformação combina múltiplas tecnologias, provocando mudanças sem precedentes na economia e na sociedade a um ritmo exponencial (KAMP, 2016; SCHWAB, 2016). No setor de manufatura, o termo “indústria 4.0” é utilizado para descrever o novo estágio tecnológico que pode ser alcançado pela implementação dessas tecnologias, gerando processos produtivos mais eficientes, sustentáveis e flexíveis (TERKOSKY, FRYE e MAY, 2020).

A formação de estudantes de engenharia nesse novo contexto tecnológico e social considera o desenvolvimento de habilidades de aprendizagem para resolução de problemas complexos e reais (KAMP, 2016). Um dos aspectos mais importantes para a educação em engenharia é o desenvolvimento de habilidades de “aprender a aprender”, preparando os alunos para lidarem com problemas desconhecidos e complexos (KAMP, 2016). A excelência na educação em engenharia está ligada à aprendizagem significativa, envolvendo a aprendizagem de conceitos e o desenvolvimento de um conjunto de habilidades, atitudes e valores diversos e complexos (SANTOS et al., 2020).

Nesse novo contexto, os sistemas de engenharia se desenvolvem por meio de uma profunda integração de componentes físicos e virtuais, comumente designados como sistemas ciberfísicos.

Este é um novo desafio para a educação em engenharia, formar profissionais aptos a conceber, construir, aplicar e manter essa nova classe de sistemas. Assim, torna-se fundamental repensar o processo de aprendizagem, no sentido de estimular o desenvolvimento de competências e habilidades necessárias à formação de pessoas para condução da transformação tecnológica em diferentes setores econômicos e atuação em sistemas Ciberfísicos.

O presente trabalho buscou investigar objetivos de aprendizagem e competências relacionadas aos sistemas ciberfísicos na educação em engenharia, com o intuito de propor orientações a uma estrutura pedagógica para orientar professores e gestores para na concepção e planejamento de ambientes e atividades laboratoriais. O principal propósito é contribuir para o desenvolvimento de habilidades e competências essenciais para a construção, aplicação e operação de sistemas ciberfísicos, utilizando estratégias pedagógicas de aprendizagem ativa.

2- LABORATÓRIOS NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

Laboratórios são ambientes em que estudantes podem explorar a natureza da ciência, interagir com fenômenos reais, desenvolver habilidades de investigação, adquirir capacidades de trabalho em equipe e cultivar interesse pela ciência, adquirindo conhecimentos que vão muito além da teoria básica (JONG; LINN; ZACHARIA, 2013). Atividades laboratoriais constituem uma parte fundamental do processo de formação de alunos de engenharia, considerando o seu enfoque como área dedicada à criação de tecnologias utilizando conhecimento, dados, energia e materiais.

Os laboratórios de engenharia são propícios para atividades com diferentes propósitos que Feisel e Rosa (2005) categorizam em três tipos principais: desenvolvimento, pesquisa e didáticos. Laboratórios de desenvolvimento são usados no processo de desenvolvimento de produtos, obtendo dados para a concepção, teste e validação de produtos e serviços em relação ao atendimento dos requisitos prescritos a partir da análise da demanda em contexto. Por sua vez, laboratórios de pesquisa são ambientes dedicados à produção de conhecimento científico e tecnológico. Os laboratórios didáticos são ambientes de aprendizagem para atividades mão na massa em cursos de engenharia.

Ambientes laboratoriais possibilitam que estudantes explorem conceitos e aprendam colocando a mão na massa, abrindo espaço para a adoção da aprendizagem ativa. A aprendizagem ativa é uma abordagem pedagógica que pode ser vista à luz do construtivismo, que enfatiza a aprendizagem como uma construção de estruturas de conhecimento através da internalização progressiva de ações (FERNANDEZ, 2017). Esta abordagem consiste em estratégias pedagógicas que incentivam estudantes a interagir, refletir, explorar, aplicar e compartilhar suas experiências. Os estudantes passam a desempenhar o papel de protagonistas em um processo dinâmico de aprendizagem no qual o conhecimento é socialmente construído, entrelaçando teoria e prática (SANTOS et al., 2020). Dessa forma, estudantes são mais capazes de analisar, avaliar e sintetizar ideias, alcançando habilidades de alto nível no domínio cognitivo (CAMBRIDGE ASSESSMENT, 2021).

O Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), agência internacionalmente reconhecida que credencia programas em ciências e engenharia, promoveu um colóquio em 2002 para discutir os objetivos fundamentais dos laboratórios didáticos nas engenharias. Professores de engenharia de diferentes áreas e instituições participaram do colóquio que resultou em uma lista de treze objetivos de aprendizagem (FEISEL; ROSA, 2005). Os objetivos, apresentados na tabela 1, descrevem a expectativa de aprendizado dos estudantes com as atividades laboratoriais e abrangem conhecimentos nos domínios cognitivo, psicomotor e afetivo (FEISEL; PETERSON, 2002).

Tabela 1 - Objetivos fundamentais de laboratórios didáticos de engenharia (FEISEL; PETERSON, 2002)

Objetivo	Descrição	Domínio de aprendizagem
Instrumentação	Aplicar sensores, instrumentação e/ou ferramentas de software apropriadas para realizar medições de grandezas físicas.	Cognitivo
Modelagem	Avaliar modelos teóricos na representação e descrição de eventos do mundo real. Pode incluir a validação da relação entre dados medidos e princípios físicos subjacentes.	Cognitivo
Experimentação	Elaborar uma abordagem experimental, especificar equipamentos e procedimentos apropriados, implementar esses procedimentos e interpretar os dados resultantes para caracterizar um material, componente ou sistema de engenharia.	Cognitivo
Análise de dados	Demonstrar a capacidade de coletar, analisar e interpretar dados, e de formar e apoiar conclusões. Fazer julgamentos de ordem de magnitude e usar sistemas e conversões de unidades de medida.	Cognitivo
Projeto	Projetar, construir ou montar peças, produtos ou sistemas, incluindo o uso de metodologias, equipamentos ou materiais específicos. Atender aos requisitos das partes envolvidas em um projeto. Desenvolver especificações do sistema a partir dos requisitos. Testar e depurar protótipos, sistemas ou processos usando ferramentas apropriadas para garantir o pleno atendimento dos requisitos.	Cognitivo
Aprendizado com as falhas	Identificar e analisar resultados mal sucedidos devido a equipamentos, peças, códigos, construção, processos ou designs defeituosos para reengenhar soluções eficazes.	Cognitivo e afetivo
Criatividade	Demonstrar níveis apropriados de pensamento independente, criatividade e capacidade na resolução de problemas do mundo real.	Cognitivo e afetivo
Psicomotricidade	Demonstrar competência na seleção e operação de ferramentas e recursos de engenharia de acordo com as atividades de desenvolvimento.	Psicomotor
Segurança	Identificar adequadamente aspectos de saúde, segurança e meio ambiente relacionados a processos e atividades tecnológicas, lidando com eles de forma responsável.	Cognitivo e afetivo
Comunicação	Comunicar-se eficazmente sobre o trabalho de laboratório com um público específico, tanto oralmente quanto por escrito, em níveis que variam de resumos executivos a relatórios técnicos abrangentes.	Cognitivo e afetivo
Trabalho em equipe	Trabalhar efetivamente em equipes, incluindo a atribuição de funções, responsabilidades e tarefas, monitoramento do progresso, cumprimento de prazos e integração de contribuições individuais em um produto final.	Cognitivo e afetivo
Ética no laboratório	Comportar-se com os mais altos padrões éticos, incluindo relatar informações de forma objetiva e interagir com integridade.	Cognitivo e afetivo
Consciência sensorial	Usar os sentidos humanos para coletar informações e fazer julgamentos de engenharia sólidos na formulação de conclusões sobre problemas do mundo real.	Psicomotor

Fonte: Autores (2024)

3- ENSINO DE SISTEMAS CIBERFÍSICOS

A formação de engenheiros deve considerar o uso de tecnologias da informação e comunicação para que os alunos sejam capazes de lidar com sistemas Ciberfísicos. Alguns autores argumentam que engenheiros, no contexto da indústria 4.0, devem dominar conhecimentos e habilidades de diversas áreas da engenharia. Nair et al. (2020) apontam que o paradigma dos sistemas Ciberfísicos está prestes a transformar a maneira como as disciplinas de engenharia são ministradas. Jeganathan et al. (2018) definiram o projeto de sistemas Ciberfísicos como um dos domínios funcionais da educação em engenharia 4.0, tendo sido descrito como o estudo, projeto, desenvolvimento e manutenção de sistemas Ciberfísicos. Os autores destacaram sete domínios de conhecimento essenciais para a

educação em engenharia 4.0: design, modularidade, interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real e orientação para serviços. No domínio da virtualização, os sistemas ciberfísicos foram incluídos como uma tecnologia que permite a criação de cópias virtuais do mundo real. No domínio da descentralização, os sistemas Ciberfísicos foram destacados como sistemas com capacidade de operar autonomamente. Broo, Boman e Törngren (2021) descreveram os sistemas ciberfísicos como um campo científico e tecnológico inerentemente interdisciplinar. Eles sugeriram a integração de sustentabilidade, interação humano-máquina, ética de dados e questões sociais com sistemas ciberfísicos no currículo de engenharia. Essa integração pode fortalecer a educação em engenharia com uma perspectiva totalmente multidisciplinar, onde resultados e soluções relacionadas à sociedade, engenharia e sustentabilidade são considerados em conjunto.

Antkowiak et al. (2017) desenvolveram um curso de sistemas de produção ciberfísicos (CPPS) visando preparar estudantes para fábricas inteligentes. O curso é baseado na pirâmide de automação e na teoria do construtivismo, tendo sido dividido em quatro módulos: o primeiro módulo - "integração de dispositivos de campo controlados por controladores lógicos programáveis (PLC)" - foca nos fundamentos de PLC e modelagem de informações em nível de máquina; o segundo módulo - "aquisição e modelagem de dados" - ensina como conectar dispositivos controlados por PLCs e criar a representação digital relacionada para a implementação de um CPPS; o terceiro módulo - "armazenamento e integração de dados" - visa analisar como integrar os dados adquiridos em um armazenamento central; o quarto módulo - "realizar análise de dados para otimizar sistemas de produção" - foca no uso de análise de dados na operação, suporte à decisão e otimização de sistemas de produção.

Wade et al. (2015) descreveram o programa de engenharia de sistemas de sistemas ciberfísicos no Stevens Institute of Technology (New Jersey, EUA). O programa é baseado no desenvolvimento de habilidades que permitem aos alunos conceber, projetar, testar, validar, implantar e sustentar sistemas ciberfísicos. Concepção de sistemas ciberfísicos, Design de sistemas ciberfísicos, Implementação de sistemas ciberfísicos e Sustentação de sistemas ciberfísicos são os quatro cursos que formam o núcleo do programa, cobrindo todo o ciclo de vida dos sistemas ciberfísicos. Os cursos são integrados usando a aprendizagem baseada em projetos como estratégia educacional integradora. Os estudantes utilizam a Systems Modeling Language (SysML) para o design do sistema e sua implementação final deve incluir interações humanas, software e hardware embarcados, sensores, comportamento em tempo real e controle distribuído.

Makio et al. (2017) relataram um projeto de cooperação internacional para o ensino de sistemas ciberfísicos realizado pela ITMO University (Rússia) e pela University of Applied Sciences Emden / Leer (Alemanha). O projeto criou um conceito pedagógico para o ensino de sistemas ciberfísicos, denominado abordagem holística centrada em tarefas, e o

implementou em um contexto internacional. O conceito é resultado da combinação de cinco abordagens pedagógicas: aprendizagem perceptual, aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem baseada em projetos, orientação para pesquisa e ensino presencial. Seu componente central é o desenvolvimento de um projeto de sistema ciberfísico. O conceito foi implementado em um curso de sistemas ciberfísicos frequentado por alunos de ambas as universidades. Durante o curso, os alunos tiveram que desenvolver uma planta de produção inteligente, que consistia em paletes, pisos de loja, robôs e blocos de construção, trabalhando no conceito de sistemas ciberfísicos. O curso destacou o desenvolvimento de habilidades interpessoais, apontadas como fundamentais para projetos de desenvolvimento de sistemas ciberfísicos.

Makio-Marusik (2017) realizou uma revisão da literatura para identificar competências relacionadas a sistemas ciberfísicos que são requeridas pela indústria e academia para engenheiros. As competências identificadas, mostradas na Tabela 2, foram agrupadas em três categorias: conhecimento e habilidades técnicas, conhecimento e habilidades sociais, e atitudes. A revisão também apontou que a aprendizagem baseada em projetos em equipes, o ensino presencial e atividades práticas de laboratório foram as estratégias educacionais mais utilizadas em cursos e currículos de sistemas ciberfísicos.

4. ORIENTAÇÕES PARA O ENSINO DE SISTEMAS CIBERFÍSICOS

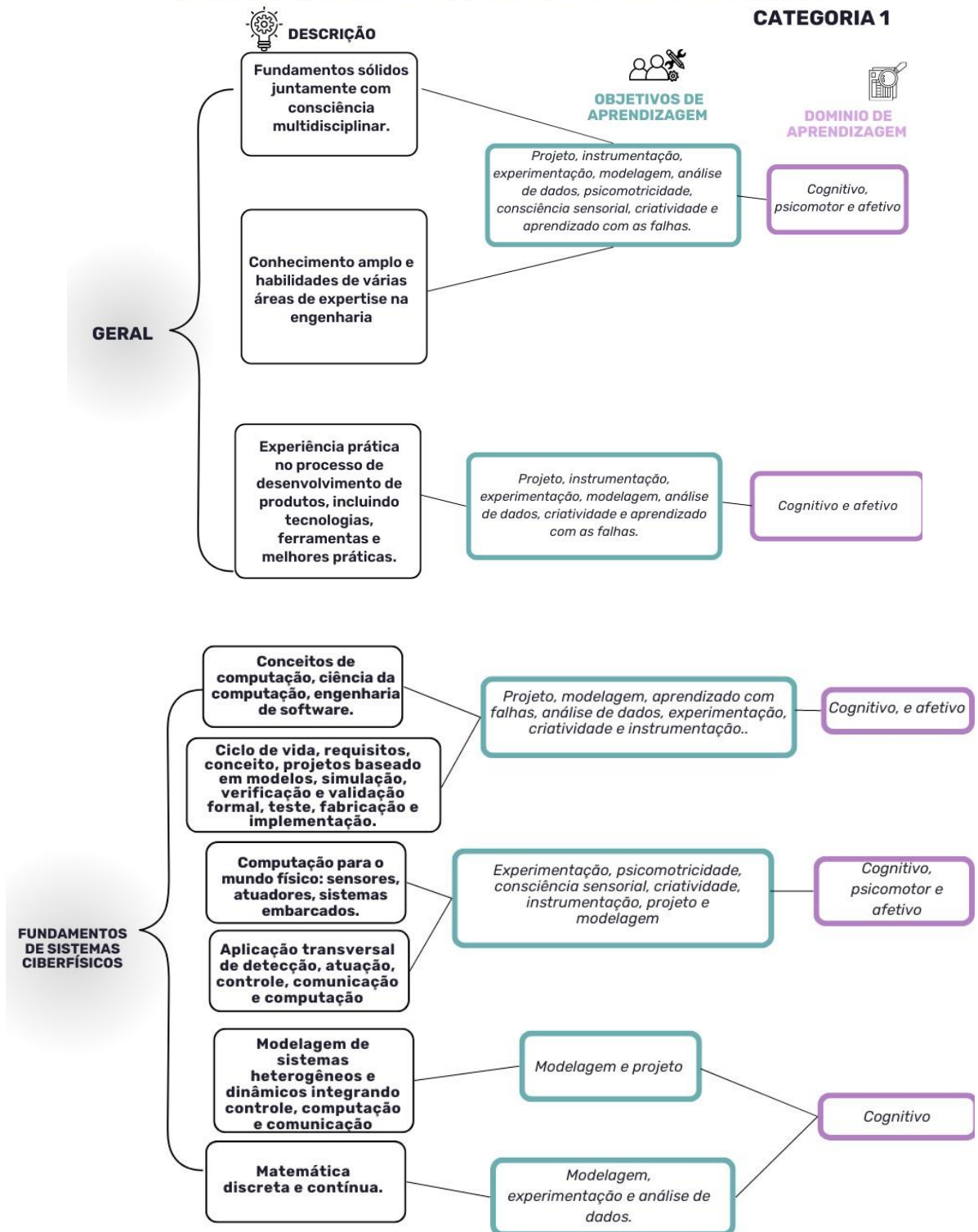
Os laboratórios são frequentemente descritos como ambientes de aprendizagem fundamentais para o desenvolvimento de competências relacionadas ao projeto, modelagem e análise de sistemas de engenharia. Os estudantes têm a oportunidade de adquirir conhecimento e experiência sobre como combinar teoria científica, tecnologias, técnicas e ferramentas para construção de soluções e sistemas, aplicando criatividade à ciência. No entanto, o uso de ambientes práticos deve ser previamente planejado e conectado com os objetivos de aprendizagem para o desenvolvimento das habilidades e competências almejadas. Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma estrutura pedagógica que vincula os objetivos fundamentais dos laboratórios didáticos com as competências requeridas para sistemas ciberfísicos. A estrutura permite analisar quais atividades podem ser propostas para a realização de cada competência, destacando os domínios de aprendizagem envolvidos. Apresentamos nos fluxogramas abaixo a estrutura baseada nas contribuições de Makio-Marusik (2017) e Feisel e Peterson (2002). Nela, são visualizadas três categorias norteadoras:

- Conhecimento e Habilidades Técnicas – CHT
- Conhecimento e Habilidades Sociais – CHS
- Atitudes;

Na primeira categoria (CHT), observamos a divisão de tarefas entre aspectos técnicos gerais, fundamentos de sistemas ciberfísicos, características de sistemas não funcionais, fatores de engenharia de sistemas e engenharia.

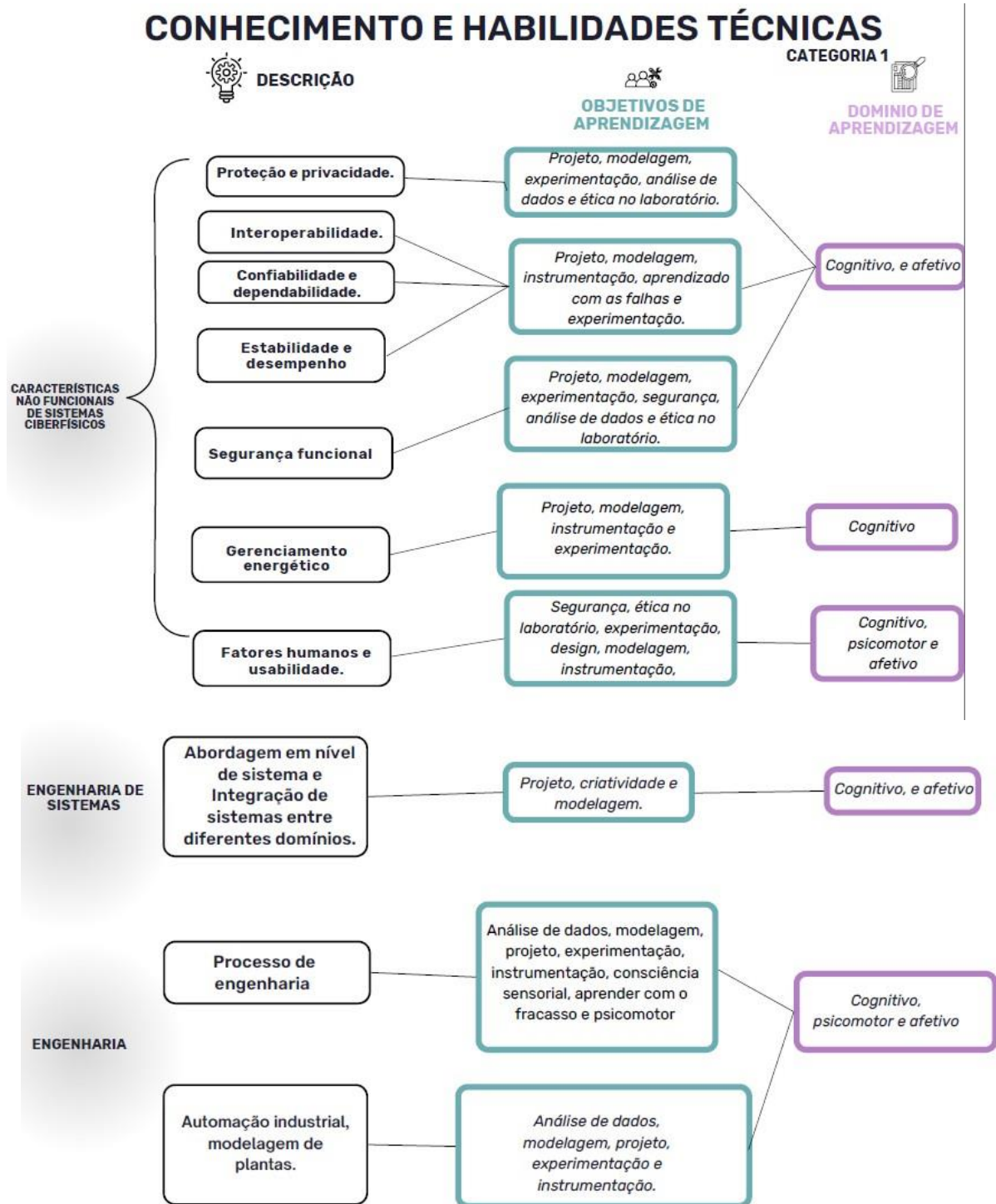
Figura 1 – Conhecimento e Habilidades Técnicas

CONHECIMENTO E HABILIDADES TÉCNICAS



Fonte: Autores (2024)

Figura 2 – Conhecimento e Habilidades Técnicas

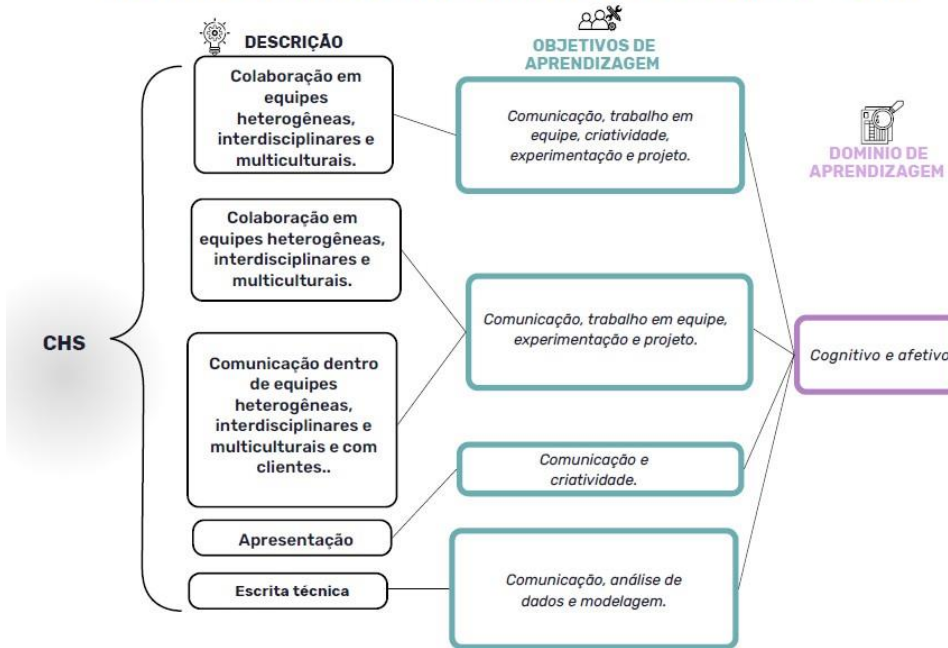


Fonte: Autores (2024)

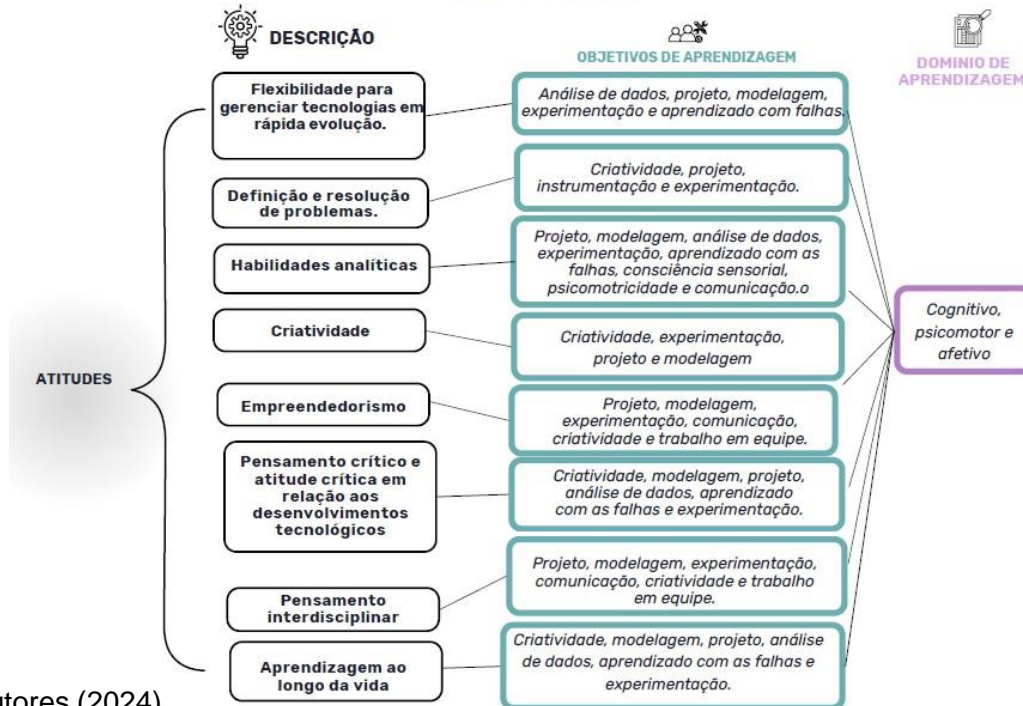
Na categoria 2 (CHS), observa-se cinco principais atividades, relacionadas com: colaboração e comunicação em equipes multidisciplinares, multiculturais, apresentação e escrita técnica.

Figura 3 – Conhecimento e Habilidades Sociais e Atitudes

CONHECIMENTO E HABILIDADES SOCIAIS - CHS



ATITUDES



Fonte: Autores (2024)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas ciberfísicos são comumente considerados como uma evolução dos sistemas embarcados, que têm sido pesquisados e abordados em laboratórios e cursos relacionados à engenharia eletrônica. Há dois focos principais na abordagem dos sistemas ciberfísicos na engenharia: o projeto de sistemas e o desenvolvimento de hardware ou software. Em termos do projeto de sistemas, o principal objetivo é instruir os estudantes sobre como projetar e desenvolver um sistema ciberfísico como uma solução de engenharia para um problema em contexto. A outra abordagem se concentra no desenvolvimento de hardware ou software no contexto dos sistemas ciberfísicos. A abordagem adotada na estrutura pedagógica proposta é a de projeto de sistemas devido à sua abrangência, envolvendo múltiplas áreas das engenharias e ciências. A estrutura aponta a necessidade de desenvolvimento de um conjunto diversificado de atividades para o ensino de sistemas ciberfísicos, adotando múltiplas estratégias pedagógicas a fim de alcançar os objetivos de aprendizagem propostos.

Referências

ANTKOWIAK, D. et al. Cyber-Physical Production Systems: a teaching concept in engineering education. In: IIAI INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED APPLIED INFORMATICS (IIAI-AAI), 6., 2017, Hamamatsu. **2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)**. IEEE, 2017. p. 681-686. DOI: <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2017.35>

BROO, D. G.; BOMAN, U.; TÖRNGREN, M.. Cyber-physical systems research and education in 2030: scenarios and strategies. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 21, p. 100192, mar. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jii.2020.100192>.

CAMBRIDGE ASSESSMENT. **Cambridge Assessment - International Education**, 2021. Getting started with Active Learning. Available at: <<https://www.cambridgecommunity.org.uk/professional-development/gswal/index.html>>. Accessed on: 21 July 2021.

ESPOSITO, G. et al. Non-Traditional Labs and Lab Network Initiatives: a review. **International Journal Of Online And Biomedical Engineering (Ijoe)**, v. 17, n. 05, p.4, 20 May 2021. International Association of Online Engineering (IAOE). DOI:<http://dx.doi.org/10.3991/ijoe.v17i05.20991>.

FEISEL, L. D.; ROSA, A.J.. The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. **Journal Of Engineering Education**, v. 94, n. 1, p. 121-130, jan. 2005. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x>.

FEISEL, L.; PETERSON, G. A Colloquy On Learning Objectives For Engineering Education Laboratories. In: AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2002, Montreal. **Proceedings [...]**. ASEE Conferences, 2002. p. 1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.18260/1-2--11246>

FERNANDEZ, C. O. **Programação física e criatividade: contribuições de uma abordagem exploratória para a introdução da programação física no ensino fundamental**. 2017. Dissertação (Mestrado em Sistemas Eletrônicos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. DOI:10.11606/D.3.2017.

JONG, T.; LINN, M. C.; ZACHARIA, Z. C. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. **Science**, v. 340, n. 6130, p. 305-308, 18 abr. 2013. American Association for the Advancement of Science (AAAS). DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1230579>.

JEGANATHAN, L. et al. On a Framework of Curriculum for Engineering Education 4.0. In: 2018 WORLD ENGINEERING EDUCATION FORUM - GLOBAL ENGINEERING DEANS COUNCIL (WEEF-GEDC), 2018, Albuquerque. **2018 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC)**. IEEE, 2018. p. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/WE EF-GEDC.2018.8629704>.

KAMP, A. **Engineering education in the rapidly changing world: rethinking the vision for higher engineering education**. Report. 2 ed. TU Delft, Faculty of Aerospace Engineering. 2016.

MAKIO, J. et al. Teaching cyber physical systems engineering. In: 43rd ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, 43., 2017, Beijing. **IECON 2017**. IEEE, 2017. p. 3530-3535. DOI: <https://doi.org/10.1109/IECON.2017.8216597>.

MAKIO-MARUSIK, E. M. Current trends in teaching cyber physical systems engineering: a literature review. In: 2017 IEEE 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS (INDIN), 15., 2017, Emden. **2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**. IEEE, 2017. p. 518-525. DOI: <https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104826>

NAIR, B. B. *et al.* Future Engineering Curricula: balancing domain competency with cps readiness. **IEEE Design & Test**, v. 37, n. 6, p. 16-23, dez. 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109 /mdat.2020.3012110>.

SANTOS, E. M. F. *et al.* Aprendizagem ativa como principal estratégia para atendimento das novas diretrizes curriculares nacionais em engenharia. In: BRAZILIAN CONGRESS OF ENGINEERING EDUCATION, 48., 2020, Caxias do Sul. **Proceedings of the XLVIII Brazilian Congress of Engineering Education**. Associação Brasileira de Educação em Engenharia, 2020.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Geneva: World Economic Forum, 2016.

TERKOWSKY, C.; FRYE, S.; MAY, D. Using Constructive Alignment to Evaluate Industry 4.0 competencies in Remote Laboratories for Manufacturing Technology. In: Auer M., May D. (eds) **Cross Reality and Data Science in Engineering. REV 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 1231, p. 603-613, Springer, ago. 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_50

WADE, J. et al. Systems Engineering of Cyber-Physical Systems Education Program. In: ESWEEK'15: EMBEDDED SYSTEM WEEK, 11., 2015, New York, Ny, Usa. **Proceedings of the WESE'15: Workshop on Embedded and Cyber-Physical Systems Education**. New York: ACM, 2015. p. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1145/2832920.2832927>.

CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN ENGINEERING EDUCATION: GUIDELINES FOR PLANNING LABORATORY ENVIRONMENTS AND ACTIVITIES

Abstract: *The integration of digital technologies into daily life and production has profoundly transformed the economy, marking the fourth industrial revolution. This revolution combines technologies such as cloud computing, IoT, synthetic biology, big data, virtual reality, 3D printing, AI, and cyber-physical systems, driving unprecedented changes in economic and societal structures. In manufacturing, "Industry 4.0" represents a stage of advanced technological integration leading to more efficient, sustainable, and flexible processes. Engineering education must adapt by fostering problem-solving and "learning to learn" skills to address complex, real-world issues. This study aims to investigate learning objectives and competencies related to cyber-physical systems in engineering education. The goal is to propose guidelines for a pedagogical framework that aids educators in designing and planning laboratory environments and activities, ultimately developing essential skills and competencies for constructing, applying, and operating cyber-physical systems through active learning strategies.*

Keywords: *Cyber-physical systems; laboratory activities;*

