

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS EM UMA DISCIPLINA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO: O CASO CAIXAS PRIME

Marco Aurélio de Mesquita, Escola Politécnica da USP, marco.mesquita@poli.usp.br

Resumo

Este relato descreve a reformulação da disciplina Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção, oferecida a estudantes de Engenharia de Produção na Escola Politécnica da USP. A disciplina foi estruturada com base nas metodologias de Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*) e Aprendizagem baseada em Projetos (*Project-based Learning – PBL*), visando ao desenvolvimento integrado de competências, entendidas aqui como a articulação entre conhecimentos, habilidades e atitudes (CHA). Durante o curso, foi proposto um caso inspirado em uma situação real de empresa, no qual os grupos atuaram como consultorias responsáveis por simular diferentes cenários e propor uma nova configuração para uma fábrica de caixas de papelão. O projeto foi desenvolvido ao longo do semestre, seguindo os passos propostos por Banks et al. (2010), com entregas parciais e momentos de validação junto ao “cliente”. Os resultados mostraram maior engajamento dos estudantes, diversidade nas soluções propostas e acompanhamento docente mais efetivo. A experiência também evidenciou o impacto positivo da parceria com empresas, ao aproximar a prática pedagógica dos desafios enfrentados no ambiente profissional.

Palavras-chave: ensino de engenharia; simulação de sistemas; aprendizagem baseada em projetos; sala de aula invertida; desenvolvimento de competências.

1. Introdução

A disciplina PRO3342 – Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção, do curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP, era conduzida por meio de aulas expositivas, com foco nos fundamentos teóricos da simulação, incluindo distribuições de probabilidade, processos estocásticos, teoria de filas e estatística, complementados por listas de exercícios e avaliações escritas. A disciplina também previa um projeto prático, realizado fora do horário de aula, com os grupos escolhendo livremente os casos de aplicação. Essa autonomia excessiva limitava o acompanhamento docente, dificultava o desenvolvimento equitativo de competências e favorecia a reutilização de trabalhos de turmas anteriores.

Com o objetivo de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais ativo, estruturado e efetivo, a disciplina foi reformulada no segundo semestre de 2024 com base em duas metodologias complementares: a Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*) e a Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning* – PBL). Essa combinação tem sido destacada na literatura por potencializar a aprendizagem autorregulada, o pensamento crítico e a aplicação contextualizada de conceitos técnicos (Awuor et al., 2022; Chua & Islam, 2021; Zarouk et al., 2020). O projeto da disciplina passou a ser conduzido passo a passo dentro das aulas práticas (laboratório), com um caso comum a todos os grupos, o que permitiu maior controle e melhor orientação ao longo do semestre, além de facilitar a troca de experiências entre os alunos.

O projeto proposto girou em torno do planejamento da capacidade produtiva da empresa fictícia Caixas Prime, inspirada em uma empresa real localizada no interior de São Paulo. Durante visita técnica realizada antes do início da disciplina, identificou-se a oportunidade de modelar e simular a produção da empresa, que pretendia aumentar sua capacidade de 650 para 850 toneladas mensais em um novo galpão. Como não foi possível realizar uma visita presencial com os alunos, foi disponibilizado no ambiente virtual da disciplina um vídeo produzido pelo parceiro da empresa, apresentando o processo de produção composto por quatro etapas: corte, impressão, acabamento e embalagem.

A organização do projeto seguiu os passos propostos por Banks et al. (2010) para o desenvolvimento de projetos de simulação, abrangendo desde a definição do problema até a documentação da solução. Ao aplicar práticas de aprendizagem ativa e conduzir um projeto comum em sala, buscou-se promover não apenas o conhecimento teórico, mas sua aplicação crítica em contextos complexos,

além do desenvolvimento de habilidades práticas em modelagem, simulação, análise de sistemas e gestão de projetos.

O objetivo deste relato é apresentar a experiência de reformulação da disciplina, destacando o percurso adotado, os resultados observados e as lições aprendidas com a aplicação combinada das metodologias *Flipped Classroom* e PBL no ensino de simulação de sistemas de produção.

2. Descrição do problema

Embora reconhecida pelos estudantes como relevante e desafiadora, a disciplina PRO3342 apresentava limitações quanto ao desenvolvimento efetivo de competências práticas em modelagem, simulação e análise de sistemas de produção. A disciplina está posicionada no 6º semestre ideal da grade curricular e era organizada de forma tradicional, com aulas teóricas e de exercícios em sala e a realização de um projeto prático extraclasse, definido livremente pelos grupos. Embora alguns estudantes demonstrassem alto engajamento, outros apresentavam participação limitada ou reproduziam modelos e análises com pouca profundidade.

Essa percepção derivou da observação direta do docente ao longo de várias turmas, especialmente nas reuniões de orientação com os grupos. Nessas interações, tornava-se evidente a variabilidade de engajamento entre os estudantes, tanto entre diferentes grupos quanto dentro de um mesmo grupo. Além disso, os projetos práticos, realizados fora do horário de aula e com casos de aplicação escolhidos livremente, dificultavam o acompanhamento sistemático por parte do professor e limitavam a troca de experiências entre os grupos.

Outro fator observado foi que o sucesso do projeto dependia, em parte, da “sorte” dos grupos em conseguir um caso interessante com dados disponíveis. Essa variabilidade no potencial dos projetos impactava a profundidade das análises realizadas e gerava desigualdades nas oportunidades de aprendizagem.

Diante desse contexto, foi identificada a necessidade de reformular a disciplina, adotando uma abordagem que promovesse o ensino orientado ao desenvolvimento de competências. Essa abordagem, alinhada às tendências atuais em ensino de engenharia (Chen et al., 2021), valoriza não apenas a aquisição de conhecimentos teóricos, mas também sua aplicação prática no enfrentamento de situações reais e complexas. A opção pedagógica adotada combinou práticas de aprendizagem ativa, com destaque para a Aprendizagem baseada em Projetos (PBL) e a Sala de Aula Invertida

(*Flipped Classroom*), com o intuito de tornar o processo de aprendizagem mais significativo, equitativo e alinhado à prática profissional.

2.1. Sobre o caso Caixas Prime

O projeto de simulação desenvolvido na disciplina teve como base a empresa fictícia Caixas Prime, inspirada em um fabricante real de embalagens de papelão localizado no interior de São Paulo. A empresa produz caixas de papelão personalizadas para diversos clientes, com destaque para uma montadora de veículos de grande porte.

O processo produtivo da Caixas Prime tem início com o recebimento de chapas de papelão em tamanho padrão. Essas chapas são cortadas, impressas com a logomarca e demais informações do cliente, vincadas e, em seguida, embaladas em fardos de caixas planas. As caixas são montadas apenas no momento do uso, já nas instalações do cliente.

O mix de produtos considerado no projeto foi simplificado para três tipos de caixas:

- Caixa grande: uma por chapa,
- Caixa média: duas por chapa,
- Caixa pequena: seis por chapa.

Cada tipo de caixa apresenta perda de material distinta, o que afeta o peso final das caixas produzidas. Essa informação foi utilizada pelos grupos para converter o volume de produção em peso total, unidade crítica para o objetivo do projeto, que era alcançar uma produção mensal de 850 toneladas.

A empresa adota uma estratégia de produção híbrida:

- *Make to Stock* (MTS) para grandes clientes com demandas recorrentes (90% da produção), utilizando uma lógica de produção puxada (*kanban*).
- *Make to Order* (MTO) para clientes novos ou pedidos especiais (10% da produção), seguindo uma lógica de produção sob encomenda.

No cenário projetado, a empresa se preparava para mudar para um novo galpão e ampliar sua capacidade produtiva. Os grupos, atuando como empresas de consultoria, deveriam propor a melhor

configuração da fábrica para atingir a nova meta de produção. Como parte da proposta, os estudantes pesquisaram equipamentos disponíveis no mercado e avaliaram sua adequação ao processo estudado.

Uma das dificuldades reais do projeto foi a obtenção de dados confiáveis sobre o processo produtivo. Embora relativamente simples, o processo apresentava muitos detalhes e variabilidades que exigiam das equipes raciocínio crítico na formulação de premissas. Informações como produtividade por tipo de equipamento, tempos de processo e tempos de setup foram solicitadas formalmente ao “cliente”, papel assumido pelo professor ao longo do projeto. A escassez de dados foi incorporada como parte do desafio, simulando as incertezas típicas da prática profissional e incentivando os alunos a tomar decisões com base em informações limitadas.

Embora todos os grupos trabalhassem com o mesmo caso, as soluções desenvolvidas foram diversas. A adoção de premissas distintas, o uso de modelos conceituais diferentes e a escolha de planos de experimentos variados resultaram em projetos com abordagens e conclusões diferentes. Essa diversidade foi estimulada e bem recebida como parte do desenvolvimento da autonomia e da capacidade analítica dos estudantes.

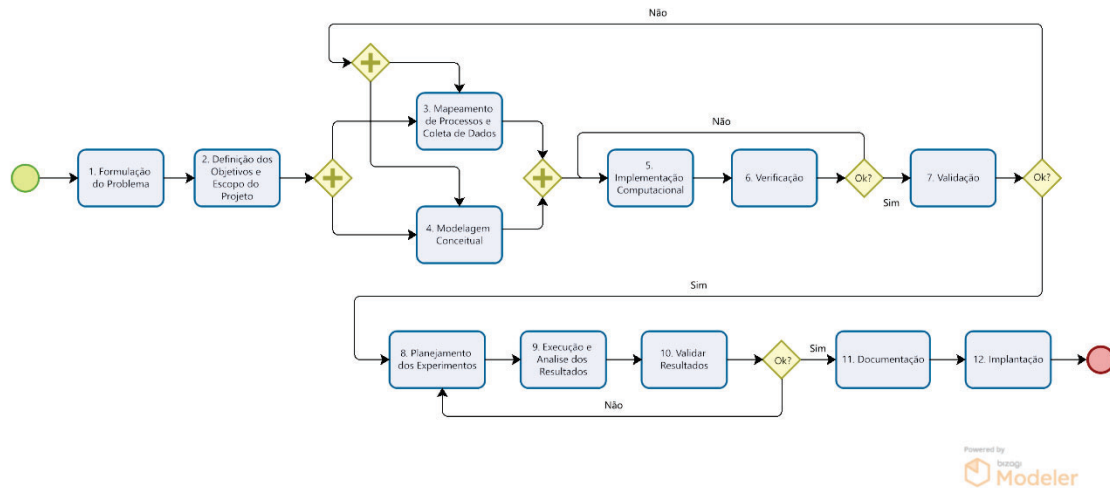
Com foco na modelagem e análise operacionais, a disciplina optou por não incluir a análise de custos, considerando que esse tema é abordado em outras disciplinas do curso, como Engenharia Econômica e Custos Industriais. Além disso, a obtenção de dados de custos representa uma complicação prática para o desenvolvimento do PBL, por se tratar de informações sensíveis das empresas. A decisão de delimitar o escopo buscou evitar sobreposições de conteúdo e manter o foco no desenvolvimento de competências técnicas relacionadas à simulação de sistemas de produção e à análise de indicadores operacionais, como nível de serviço, tempo de ciclo, tempo médio de espera e volume de estoque.

3. Solução desenvolvida (percurso metodológico)

A reformulação da disciplina PRO3342 – Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção foi guiada pela articulação entre teoria e prática, com o objetivo de promover o desenvolvimento de competências, entendidas neste relato como a integração entre conhecimentos, habilidades e atitudes (CHA). Desde a aula inaugural, essa perspectiva foi apresentada aos alunos, incluindo um destaque para a ética no contexto acadêmico e profissional, compreendida como um valor essencial para o exercício da engenharia.

A disciplina, planejada para cerca de 80 alunos, divididos em duas turmas, foi estruturada com base nos doze passos para projetos de simulação propostos por Banks et al. (2010), representados (Figura 1). Por se tratar de um estudo de viabilidade, o último passo – implantação, não se aplica. Assim, o projeto foi delimitado até a etapa de documentação, totalizando 11 etapas efetivamente desenvolvidas ao longo do semestre.

Figura 1 – Passos do Projeto de Simulação



Fonte: Adaptado de Banks et al. (2010)

A disciplina foi programada de modo que cada etapa do projeto correspondesse a uma semana, com duas aulas de 100 minutos: uma teórica, com apresentação dialogada e atividades em sala, e outra prática em laboratório, voltada à execução do projeto. Nas semanas 7 e 9, ambas as aulas ocorreram no laboratório, com orientação individualizada aos grupos na etapa de modelagem, que é normalmente a mais desafiadora.

Na aula de abertura do semestre, os alunos foram introduzidos às metodologias ativas, ao conceito de competência (CHA) e às metodologias de Aprendizagem baseada em Projetos (PBL) e Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*). Também foi apresentado o método do projeto, com a explicação de que o cronograma da disciplina seguiria a lógica sequencial representada na Figura 1.

Antes do início efetivo do projeto, nas semanas 2 e 3, foram realizados dois laboratórios de introdução à simulação, utilizando as ferramentas Python/SimPy e AnyLogic. Essas atividades abordaram os fundamentos da teoria de filas e simulação de eventos em tempo discreto, preparando os alunos para a construção de seus modelos computacionais. O tópico de cadeias de Markov foi suprimido por ser pouco relevante no novo contexto da disciplina. Simulações do tipo Monte Carlo,

usualmente tratadas em Excel, foram brevemente abordadas, com indicação de atividades de leitura e exercícios pós-aula para alunos interessados.

O projeto prático teve início na semana 4, com o recebimento, pelos grupos, de uma carta-convite da empresa Caixas Prime, solicitando um estudo de planejamento da capacidade de produção de sua nova planta industrial. Em seguida, os grupos (“consultorias”) elaboraram suas propostas de projeto, com atividades, cronograma e orçamento, com base nos 12 passos propostos por Banks et al. (2010). As propostas foram avaliadas e todas aceitas pelo “cliente”, e os projetos tiveram início e foram conduzidos ao longo das semanas seguintes, com entregas parciais e interações simuladas com o cliente.

Como recurso complementar, foi disponibilizado aos estudantes um modelo de simulação desenvolvido por Mesquita e Tomotani (2022), implementado na ferramenta AnyLogic, que representa um sistema de produção puxada com múltiplos produtos em uma máquina única com tempos de setup dependentes da sequência. O artigo, publicado na revista *Computers & Industrial Engineering*, serviu de referência para os grupos que optaram pelo uso do AnyLogic em seus projetos, contribuindo para aprofundar a compreensão sobre a lógica de produção puxada e apoiar a construção dos modelos computacionais.

Além da entrega final do relatório e apresentação dos resultados, a disciplina incluiu três momentos formais de validação com o cliente (representado pelo professor), conforme previsto no método de Banks et al. (2010):

- Semana 5 – Apresentação do modelo conceitual e solicitação de dados;
- Semana 9 – Entrega da versão computacional do modelo;
- Semana 11 – Apresentação dos experimentos e resultados.

Essas interações simularam o processo típico de comunicação entre consultores e clientes, contribuindo para o realismo e a motivação do projeto. Embora tenha sido considerada a participação do parceiro da empresa real na representação do cliente nas apresentações, questões logísticas impediram essa colaboração.

Durante as aulas práticas, o professor orientava os grupos individualmente, acompanhando o progresso, auxiliando na superação de dificuldades e incentivando a troca de experiências entre as equipes. As aulas teóricas adotaram a abordagem Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*), com

atividades pré-aula (leitura de textos, vídeos curtos e enquetes), seguidas de uma breve revisão, estratégia identificada na literatura como fator crítico de sucesso nesse modelo (Lo & Hew, 2019), e de uma atividade em aula que relacionava os conteúdos estudados com a etapa do projeto em andamento.

O modelo de avaliação da disciplina foi apresentado na primeira aula, buscando equilibrar a valorização do processo (atividades semanais) e das avaliações finais (prova e projeto). A nota final (M) foi calculada da seguinte forma:

- A: Média das notas das atividades pré-aula (peso 10%)
- B: Média das notas das atividades em aula (peso 10%)
- C: Média das notas das atividades de laboratório (peso 20%)
- D: Nota da prova teórica (peso 30%)
- E: Nota do projeto final (peso 30%)

$M = 0,1 \cdot A + 0,1 \cdot B + 0,2 \cdot C + 0,3 \cdot D + 0,3 \cdot E$, sendo necessário obter média final igual ou superior a 5,0 e frequência mínima de 70% para aprovação.

Essa proposta pedagógica visou proporcionar uma experiência de aprendizagem mais significativa, orientada ao desenvolvimento de competências e alinhada à prática profissional da engenharia de produção.

4. Resultados obtidos

A experiência de reformulação da disciplina com base nas metodologias de aprendizagem ativa resultou em avanços significativos no processo de ensino-aprendizagem, com maior engajamento dos estudantes, entregas de melhor qualidade e soluções diversas. Cada grupo, atuando como uma empresa de consultoria, desenvolveu um projeto completo de simulação baseado no caso da Caixas Prime, culminando na entrega de um relatório técnico e de uma apresentação executiva.

A variável de decisão principal do projeto foi a configuração da nova fábrica, definida basicamente a partir da escolha de impressoras — recurso identificado como gargalo do processo produtivo. Os grupos tiveram liberdade para pesquisar diferentes modelos de impressoras disponíveis no mercado, o que resultou em propostas variadas para compor as linhas de produção. Alguns grupos optaram

por configurações homogêneas (com um único modelo), enquanto outros testaram combinações de modelos distintos. O número de turnos também foi considerado como alternativa por alguns grupos, embora, na prática, operar com dois ou três turnos em uma fábrica desse tipo seja improvável. Essa hipótese, contudo, foi tratada com naturalidade no contexto do aprendizado.

Além das decisões relacionadas à capacidade produtiva, alguns grupos exploraram também a calibração do controle de estoques no contexto da produção puxada (MTS). Essa abordagem mais sofisticada decorreu das discussões em aula e, especialmente, do artigo de Mesquita e Tomotani (2022), disponibilizado como referência na disciplina, que aborda a simulação de sistemas de produção puxada com setups dependentes de sequência. O projeto exigia que os modelos simulassem, obrigatoriamente, tanto a produção para estoque (MTS) quanto a produção sob encomenda (MTO), reforçando a importância desses conceitos para a formação em engenharia de produção.

A análise das entregas finais revelou uma boa articulação entre os modelos conceituais, os modelos computacionais (em Python/SimPy ou AnyLogic) e os resultados obtidos nos experimentos de simulação. Os relatórios foram, em geral, bem estruturados, com premissas claras, planos de experimento coerentes e uso adequado de indicadores operacionais. Mesmo partindo de um caso comum, as soluções apresentadas foram distintas, refletindo as premissas e decisões tomadas por cada grupo.

A prova teórica, aplicada na semana 14, avaliou o domínio conceitual individual sobre os fundamentos da disciplina. O desempenho da turma foi o seguinte:

- Mínimo (sem outliers): 2,8
- Q1: 3,8
- Mediana: 4,8
- Média: 5,0
- Q3: 6,45
- Máximo (sem outliers): 7,5
- Outliers inferiores: 1,0; 1,8; 1,9; 2,0; 2,6

- Outliers superiores: 7,9; 8,0; 8,0

A prova abordou aspectos como estratégias de produção, notação BPMN, conceitos de simulação por eventos em tempo discreto e modelagem em Python/SimPy e AnyLogic. A última questão relacionava-se diretamente ao projeto desenvolvido, buscando avaliar a compreensão do papel da simulação no contexto do PBL Caixas Prime.

Embora este relato de experiência não tenha sido desenhado como um estudo de pesquisa formal, os resultados observados pelo docente indicam que a reformulação da disciplina foi bem-sucedida. Os alunos demonstraram maior motivação e os projetos apresentaram um bom nível técnico. A escassez de dados reais, longe de comprometer a aprendizagem, foi incorporada como oportunidade pedagógica, prática alinhada às recomendações de Dym et al. (2005), que destacam a importância de incertezas autênticas no desenvolvimento do raciocínio de engenharia.

A ausência de coleta sistemática de feedbacks formais representa uma limitação reconhecida, que será superada nas próximas edições da disciplina. Pretendemos repetir a abordagem em novas turmas, com outro parceiro industrial e eventual integração a disciplinas correlatas, o que reforça o potencial da metodologia para promover um aprendizado mais ativo e significativo.

5. Lições aprendidas e conclusão

A reformulação da disciplina PRO3342 – Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção, buscou integrar conhecimentos teóricos e a prática da simulação de sistemas. A proposta foi fundamentada no ensino orientado ao desenvolvimento de competências, com uma abordagem mais próxima do que os engenheiros de produção enfrentarão no mercado de trabalho.

Na primeira aula, foram apresentados o plano da disciplina, os fundamentos da simulação computacional e a proposta pedagógica baseada em Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*) e Aprendizagem baseada em Projetos (PBL). Nas semanas 2 e 3, os alunos tiveram contato com as ferramentas de simulação por eventos em tempo discreto, Python/SimPy e AnyLogic. Na quarta semana, o projeto foi iniciado com a entrega de uma carta-convite da empresa Caixas Prime, solicitando um estudo de planejamento da capacidade da nova fábrica. A partir daí, os grupos seguiram os passos do método de Banks et al. (2010), conduzindo o projeto progressivamente ao longo do semestre.

Como em muitos projetos reais, houve dificuldades na obtenção de dados. Por não se tratar de uma consultoria real, havia limitações quanto à exigência de maior detalhamento por parte do parceiro industrial. Ainda assim, a parceria foi fundamental: o responsável pela empresa real concedeu uma visita técnica ao docente, compartilhou informações sobre o processo produtivo e produziu um vídeo que foi disponibilizado aos alunos no ambiente virtual. Esses elementos contribuíram de forma decisiva para conferir realismo, engajamento e relevância ao projeto.

Durante os laboratórios de orientação (semanas 7, 9 e 13), o professor pôde acompanhar o progresso dos grupos e contribuir com sua experiência, ajudando a interpretar dados, avaliar premissas e refinar modelos. Esses momentos de contato direto foram valiosos para alinhar expectativas, reforçar critérios técnicos e promover trocas significativas entre os grupos e dentro de cada equipe.

Para as próximas edições da disciplina, pretende-se ampliar a participação do parceiro industrial, convidando-o a acompanhar etapas como a validação dos modelos ou a apresentação final dos projetos. Isso tornaria a interação mais realista e aprofundaria a experiência dos estudantes no papel de consultores.

A experiência também trouxe aprendizados importantes sobre a integração de práticas de aprendizagem ativa. A combinação do PBL com o *Flipped Classroom* mostrou-se viável mesmo em uma disciplina técnica e com turmas grandes, desde que haja organização e um roteiro de trabalho claro ao longo do semestre. Esse resultado contribui para a literatura, que ainda carece de experiências documentadas em disciplinas avançadas de engenharia (Chen et al., 2021). Ter um projeto comum, com liberdade técnica controlada e foco na construção coletiva de conhecimento, facilitou o acompanhamento por parte do professor e a troca de experiências.

Nesse contexto, foi possível constatar o valor de buscar parcerias reais com empresas industriais ou logísticas, o que confere mais significado ao aprendizado. Essa autenticidade do contexto, segundo Dym et al. (2005), é um dos pilares do sucesso do PBL em engenharia. Um desdobramento natural seria integrar o projeto de simulação com disciplinas da área econômica, como custos industriais, ampliando o escopo da análise e aproximando ainda mais o projeto das decisões reais da engenharia de produção.

De modo geral, a experiência foi positiva: os alunos engajaram-se no projeto, entregaram trabalhos bem elaborados e demonstraram evolução em suas competências ao longo do semestre. A proposta

será aprimorada nos próximos semestres, com base nas melhorias identificadas e nas oportunidades de integração com outras disciplinas do curso.

Agradecimentos

Agradecemos à empresa parceira que colaborou nesta edição da disciplina, ao compartilhar informações sobre seu processo produtivo, conceder visita técnica ao docente e fornecer materiais audiovisuais. Sua contribuição foi essencial para aproximar o projeto da realidade da engenharia de produção e conferir maior significado ao desenvolvimento das competências propostas.

Referências Bibliográficas

AWUOR, N. O. et al. Teamwork competency and satisfaction in online group project-based engineering course: the cross-level moderating effect of collective efficacy and flipped instruction. *Computers & Education*, v.176, 2022.

BANKS, J. et al. *Discrete Event System Simulation*. 5.ed. Pearson, 2010.

CHEN, J. B.; KOLMOS, A.; DU, X. Y. Forms of implementation and challenges of PBL in engineering education: a review of literature. *European Journal of Engineering Education*, v. 46, n. 1, p. 90–115, 2021.

CHUA, K. J.; ISLAM, M. R. The hybrid Project-Based Learning-Flipped Classroom: A design project module redesigned to foster learning and engagement. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, v. 49, n. 4, p. 289–315, 2021.

DYM, C. L. et al. Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, v. 94, n. 1, p. 103–120, 2005.

LO, C. K.; HEW, K. F. The impact of flipped classrooms on student achievement in engineering education: a meta-analysis of 10 years of research. *Journal of Engineering Education*, v. 108, n. 4, p. 523–546, 2019.

MESQUITA, M. A.; TOMOTANI, J. V. Simulation-optimization of inventory control of multiple products on a single machine with sequence-dependent setup times. *Computers & Industrial Engineering*, v.174, p.108793, 2022.

ZAROUK, M. Y. et al. The Impact of Flipped Project-Based Learning on Self-Regulation in Higher Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, v. 15, n. 17, p. 115–135, 2020.