Aplicação de Simulação em Modelagem 3D para Otimização de Foguetes de Garrafa PET: Um Relato de Experiência

Italo Gabriel[1], Matheus Mauricio[1], João Victor[1], Kauã Gabriel[1], Jazon Miranda[1], Demetrius Melo[1], Arianny Leão[1], Luiz Silva[1], Lucas Lins[1], Thiago Bezerra[1], Diogo Lopes[1]

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – Palmares – Pernambuco – Brasil

{igls, mmr2, jvos2, kgsl, jmvs1, dms36, arpl, les17, lgsl3}@discente.ifpe.edu.br

{thiago.bezerra, diogo.lopes}@palmares.ifpe.edu.br

Abstract. *This report presents an interdisciplinary educational project that integrates Physics, Mathematics, and Computing through the simulation and optimization of PET bottle rockets for Brazilian scientific competitions. The initiative employs computer simulations and Python routines to model pressure, force, acceleration, and maximum distance. The results demonstrate that using simulations reduces material waste, improves rocket performance, and increases student engagement with STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) topics.*

Resumo. *Este relatório apresenta um projeto educacional interdisciplinar que integra Física, Matemática e Computação por meio da simulação e otimização de foguetes de garrafa PET em competições científicas brasileiras. A proposta utiliza simulações computacionais e rotinas em Python para modelar pressão, força, aceleração e distância máxima. Os resultados mostram que a aplicação da simulação reduz o desperdício de materiais, melhora o desempenho dos foguetes e aumenta o engajamento dos estudantes com temas de STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).*

1. Introdução

O lançamento de foguetes de garrafa PET tem sido amplamente utilizado como estratégia didática para o ensino de conceitos de Física, Matemática e Química, favorecendo a aprendizagem por meio da experimentação e da resolução de problemas [Araújo and Abib 2003, Casagrande Junior 2020]. Atividades desse tipo permitem explorar conceitos relacionados ao movimento, forças, conservação de energia, reações químicas e modelagem matemática, aproximando teoria e prática em contextos educacionais motivadores.

Além do potencial para o ensino de Ciências, iniciativas envolvendo foguetes de garrafa PET têm sido frequentemente empregadas em eventos como a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG), que estimula o protagonismo estudantil e a aplicação prática dos conhecimentos desenvolvidos em sala de aula. Segundo Wesendonk e Terrazan [Wesendonk and Terrazan 2016], atividades experimentais favorecem o desenvolvimento

do pensamento científico ao permitir que estudantes confrontem modelos teóricos com resultados observados.

Nesse contexto, a cultura *maker* contribui para ampliar as possibilidades de investigação e inovação [de Menezes et al. 2025]. O uso de laboratórios *maker* e de ferramentas de fabricação digital, como impressoras 3D, permite construir e aperfeiçoar componentes críticos dos foguetes, incluindo coifas e aletas. Dessa forma, torna-se possível realizar testes rápidos e personalizar características aerodinâmicas [Raabe and Gomes 2018].

Entretanto, a otimização do desempenho dos foguetes normalmente depende de sucessivas tentativas experimentais, resultando em elevado consumo de materiais e dificuldade para controlar as diversas variáveis envolvidas no lançamento. Diante desse cenário, este trabalho apresenta um relato de experiência que integra simulação computacional, modelagem física e prototipagem digital, visando apoiar o desenvolvimento de foguetes de garrafa PET em atividades educacionais e competições científicas.

Diferentemente de iniciativas tradicionais envolvendo foguetes de garrafa PET, que se baseiam predominantemente em testes empíricos e sucessivas tentativas de lançamento, a proposta apresentada integra simulação computacional, modelagem 3D e fabricação digital para apoiar a tomada de decisões antes da construção física dos protótipos. Essa abordagem busca reduzir desperdícios, otimizar recursos e ampliar as oportunidades de aprendizagem interdisciplinar.

O objetivo deste trabalho é descrever a aplicação dessas tecnologias em um projeto interdisciplinar desenvolvido com estudantes do ensino médio, discutindo seus resultados técnicos e educacionais.

2. Fundamentação teórica

A fundamentação teórica articula a educação em Ciências com a Física e a Computação, utilizando atividades experimentais e simulações para promover a aprendizagem significativa. Integrar teoria e prática é eficaz para compreender fenômenos físicos, especialmente com recursos computacionais que facilitam a análise de dados [Wesendonk and Terrazan 2016].

No ensino de Ciências, a experimentação favorece o pensamento científico ao permitir que estudantes confrontem modelos teóricos com dados observados. Ferramentas computacionais ampliam essas investigações, possibilitando simulações e otimizações que contribuem para uma aprendizagem ativa [Fiolhais and Trindade 2003].

Tecnologias como programação e plataformas de simulação integram Física, Matemática, Química e Computação, alinhando-se às demandas da educação STEM [Hasanah 2020]. Nesse contexto, foguetes PET, simulações e sistemas embarcados são recursos didáticos que favorecem a compreensão física e o desenvolvimento de competências em modelagem e análise computacional.

2.1. Foguetes de Garrafa PET no Ensino de Ciências e Educação em Computação

Projetos envolvendo foguetes de garrafa PET permitem trabalhar conceitos de cinemática, dinâmica, conservação de energia e reações químicas, favorecendo a interdisciplinaridade e o engajamento dos estudantes com temas relacionados à educação STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) [Casagrande Junior 2020]. A utilização de

misturas químicas, como vinagre e bicarbonato de sódio, possibilita ainda discussões sobre estequiometria, gases ideais e transformações energéticas.

Sob a perspectiva pedagógica, a experiência foi fundamentada na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), metodologia ativa na qual os estudantes constroem conhecimento a partir da resolução de problemas reais e contextualizados [Lara and Santos 2023, Bezerra et al. 2026]. Nesse cenário, o desafio de aumentar o alcance dos foguetes funcionou como elemento motivador para a investigação científica e tecnológica.

Além disso, o projeto favoreceu o desenvolvimento do Pensamento Computacional. Durante as atividades, os estudantes precisaram decompor problemas complexos em partes menores, identificar padrões nos dados observados, selecionar variáveis relevantes para modelagem dos fenômenos físicos e desenvolver algoritmos para simulação e otimização dos lançamentos.

2.2. Simulação de lançamento de foguetes

A simulação de lançamento oblíquo, utilizando a plataforma *Trinket*, permite visualizar o movimento em duas dimensões, considerando forças como arrasto e sustentação. O código da simulação define grandezas físicas e propriedades do foguete, atualizando posição e velocidade em intervalos fixos, e inclui o coeficiente de arrasto, equações de força e aceleração. Essa abordagem facilita a compreensão dos fatores que afetam o desempenho dos foguetes, como velocidade inicial, ângulo de lançamento e resistência do ar [Belarmino et al. 2017].

2.3. Cultura maker e Prototipagem Digital

A cultura *maker* pode ser compreendida como a evolução do DIY (*Do it Yourself*) ou, em português, Faça Você Mesmo, que se especializou em ferramentas tecnológicas como impressoras 3D, cortadoras a laser, microcontroladores e placas de prototipagem para estimular um aprendizado a partir da prática e experimentação. A internet contribuiu grandemente para a expansão dessa cultura, por meio de sites e canais que ensinam a criar projetos do zero, conectando pessoas e ideias [Raabe and Gomes 2018].

O movimento *maker* incentiva o protagonismo estudantil por meio da experimentação prática e da criação de soluções reais em laboratórios, aproximando os alunos das demandas profissionais contemporâneas. Neste projeto, o uso de ferramentas de fabricação digital foi essencial para o aprimoramento dos protótipos. Através da modelagem 3D, os estudantes projetaram e fabricaram componentes críticos, como coifas e aletas, utilizando impressoras 3D da instituição. Essa integração permitiu ajustes aerodinâmicos precisos e a validação física dos conceitos simulados. Ao unir teoria e prática *maker*, os alunos consolidam competências em física, engenharia e pensamento computacional, fundamentais para a inovação em competições científicas [Bezerra et al. 2026].

3. Metodologia

A metodologia adotada integrou aspectos pedagógicos, experimentais e computacionais, com foco na aprendizagem ativa e na articulação entre teoria e prática. O desenvolvimento do projeto priorizou uma abordagem investigativa, na qual os estudantes participaram de todas as etapas, desde o estudo conceitual até a implementação de experimentos e simulações, promovendo a construção coletiva do conhecimento.

O percurso metodológico envolveu formação teórica e uma competição interna de foguetes PET entre alunos do ensino médio. Os dois melhores protótipos foram selecionados para a MOBFOG, o que motivou o projeto de otimização. A partir disso, desenvolveram-se simulações computacionais e análises de dados, conectando fenômenos observáveis a modelos matemáticos e computacionais.

Além disso, a metodologia incorporou o uso de tecnologias como linguagens de programação, modelagem 3D e práticas da cultura *maker*, que foram viabilizadas pela infraestrutura da instituição. Isso visou ampliar as possibilidades de investigação e favorecer a interdisciplinaridade entre Física, Matemática e Computação, estimulando o protagonismo dos estudantes e o trabalho colaborativo. A Figura 1 ilustra o processo de produção das coifas em uma impressora 3D no laboratório *maker*, destacando a aplicação prática da prototipagem digital.



Figura 1. Coifas sendo produzidas em impressora 3D no laboratório *maker*.

3.1. Simulação do lançamento de foguetes

Uma simulação de lançamento oblíquo foi implementada utilizando a linguagem de programação *Python*, definindo grandezas físicas e propriedades do foguete. O código atualiza a posição e velocidade do foguete em intervalos fixos, considerando forças como arrasto e sustentação.

Na Figura 2, pode-se observar o funcionamento do sistema. As primeiras 14 linhas definem os valores para a criação do ambiente, incluindo as grandezas físicas e as propriedades do foguete. Em seguida, inicia-se um ciclo no qual a posição e a velocidade do foguete são atualizadas em intervalos de tempo fixos, simulando o seu movimento durante a trajetória.

Ainda sobre a implementação da simulação de lançamento do foguete de garrafa PET na Figura 2, foram definidos o coeficiente de arrasto na linha 8 apresentada na figura, pois definimos a equação da força arrasto conforme a Equação 1 e também apresentada na linha 20 da Figura 2:

main.py

```
1  GlowScript 3.2 VPython
2  nose = cone (make_trail=True, pos=vector(0.8,0,0), axis=vector(0.2,0,0), radius=0.09, color = color.green)
3  body = cylinder (make_trail=True, axi=vector(0.8,0,0), radius=0.08, color = color.white)
4  rocket = compound ([nose, body], make_trail=True)
5  rocket.mass = 1 # kg
6  grav = 9.8
7  # N/kg
8  coeficiente_drag = 1.2 # N/(m/s)
9  rocket.velocity = vector(8,5,0)
10 rocket.momentum = rocket.mass * rocket.velocity
11 attach_arrow(rocket, "momentum", scale=0.1,color=color.red)
12 # Set dt here:
13 dt = 0.01
14 t = 0
15 while (rocket.pos.y>=0):
16   rate(1/dt)
17   weight = rocket.mass * grav * vector(0,-1,0)
18 #net_force = weight
19   rocket.velocity = rocket.momentum / rocket.mass
20   drag = coeficiente_drag * rocket.velocity
21   net_force = weight + drag
22 # Replace ?? with your ball's name.
23   rocket.momentum = rocket.momentum + net_force * dt
24   rocket.pos = rocket.pos + rocket.momentum * dt / rocket.mass
25   t = t + dt
26 print(t,rocket.pos)
27 print("terminou!")
28
29
30
31
32
33
```

Figura 2. Código da simulação de lançamento oblíquo.

$$D = Coef_D \times V_{Rocket} \tag{1}$$

Onde, D é a força arrasto, $Coef_D$ é o coeficiente de arrasto e V_{Rocket} é a velocidade do foguete. Já a velocidade do foguete V_{Rocket} é apresentada na linha 19 da figura e é definida pela Equação 2:

$$V_{Rocket} = \frac{Q_{Rocket}}{m_{Rocket}} \tag{2}$$

Onde Q_{Rocket} é a quantidade de movimento do foguete, também apresentada na linha 10 da Figura 2, e m_{Rocket} é a massa do foguete.

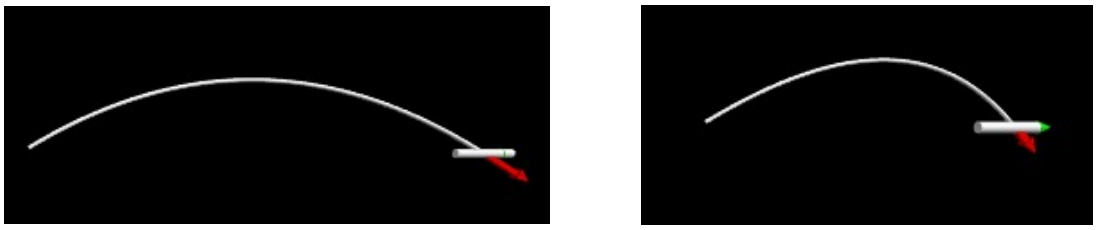
4. Resultados e discussões

A proposta inicial envolvia a gravação dos lançamentos para criar uma base de dados destinada ao treinamento de um modelo de análise de voo. A intenção era que os estudantes identificassem e corrigissem problemas no design e na execução dos lançamentos a partir dos resultados obtidos.

Devido a limitações de tempo e recursos, o treinamento do modelo de visão computacional não foi concluído. Apesar disso, o projeto proporcionou aprendizado sobre os princípios da visão computacional e criação de bases de dados como apresentado em [da Silva et al. 2017], conhecimentos úteis para futuras aplicações analíticas e de detecção em vídeo do grupo.

Quanto ao código da simulação de um lançamento oblíquo, ao utilizar a ferramenta digital *Trinket*, constatamos que o objeto em estudo é afetado pela força de arrasto, uma resistência aerodinâmica que modifica a trajetória das parábolas.

Na Figura 3, a trajetória da parábola (a) mantém-se inalterada por não sofrer influência do arrasto, resultando em um alcance maior. Já na Figura (b), a resistência do ar diminui o alcance máximo devido ao aumento na densidade dos fluidos.



a) Sem influência b) Com influência

Figura 3. Lançamento oblíquo sem e com influência do arrasto.

Assim como no exemplo da força de arrasto na Figura 3, é possível observar a influência de diversos parâmetros no lançamento oblíquo. Isso cria um ambiente para simular o lançamento de foguetes PET, permitindo testar variáveis como o design de aletas e coifas, a quantidade de combustível e as condições climáticas, o que facilita o ensino de princípios da aerodinâmica. A simulação em Python focou na demonstração da força de arrasto, utilizando foguetes PET como modelo [Conceição and Admiral 2022]. Essa abordagem possibilitou a análise detalhada de variáveis que influenciam a trajetória, como o coeficiente de arrasto, a velocidade e a massa, promovendo uma compreensão profunda dos princípios físicos envolvidos.

A etapa prática resultou em um ambiente computacional que integra aspectos físicos, químicos e computacionais. Foram implementadas funções em *Python* para calcular a pressão interna gerada pela reação entre bicarbonato de sódio e vinagre, conforme a Figura 4. A modelagem utilizou a equação dos gases ideais para estimar a pressão em função dos reagentes e do volume da garrafa, respeitando o limite de segurança de 200 PSI para evitar falhas estruturais.

A modelagem química considerou a estequiometria da reação entre o ácido acético e o bicarbonato de sódio, conforme a equação na linha (9), possibilitando a identificação do reagente limitante e, consequentemente, a estimativa da quantidade de dióxido de carbono gerado. A partir desse valor, a pressão interna foi calculada e utilizada como parâmetro para determinar a força exercida no sistema, fornecendo uma base realista para a simulação do lançamento.

Para representar a composição do vinagre comercial, adotou-se a premissa de que ele contém aproximadamente 4% de ácido acético em massa, valor típico informado pelos fabricantes de vinagres de álcool e utilizado na linha (7) da função, na qual a massa de ácido acético é obtida multiplicando-se a quantidade de vinagre por esse fator. A quantidade de vinagre em mililitros é convertida em massa assumindo-se densidade próxima da água, e a massa resultante é dividida pela massa molar do ácido acético ($60\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$), como ilustrado na linha (8), para obter a quantidade de matéria em mols. O cálculo da pressão interna, apresentado na linha (12), utiliza o divisor 2 para representar o volume de $2\ \mathrm{L}$ da garrafa PET empregada na reação. Durante a versão final do trabalho, a função foi aprimorada para receber o volume da garrafa como argumento, o que permite aos estudantes



Figura 4. Função pressão criada em *Python*.

experimentar a simulação com recipientes de capacidades distintas, como garrafas de 1,5 L e 2,5 L, e investigar a influência dessa variável sobre a pressão máxima do sistema.

Com a pressão estimada, implementaram-se funções para calcular uma força resultante e a aceleração do foguete baseadas na Segunda Lei de Newton. Esses valores permitiram determinar a velocidade inicial e estimar a distância máxima no lançamento oblíquo, conforme a Figura 5 (a). A simulação considerou forças como arrasto, sustentação, peso e impulso, detalhadas na Figura 5 (b). Os resultados mostraram que a força de arrasto reduz significativamente o alcance do foguete em comparação a cenários ideais, reforçando a importância da modelagem aerodinâmica.

a)

```python
def calcula_forca_arrasto():
    coef_arrasto = 1.2
    dens_fluido = 0.5
    A = 1
    v = 1
    calc_arrasto = 0.5 * coef_arrasto * dens_fluido * A * v**2
    return calc_arrasto

def calcula_forca_lift():
    coef_lift = 1.2
    dens_fluido = 0.5
    A = 1
    v = 1
    calc_lift = 0.5 * coef_lift * dens_fluido * A * v**2
    return calc_lift

def forca_peso():
  mass_fog = 1.0
  peso = mass_fog * 9.81
  return peso

def impulso():
  forca_m = forca()
  dt = 1.0
  impulso = forca_m * dt
  return impulso

def forca_resultante():
  D = calcula_forca_arrasto()
  L = calcula_forca_lift()
  W = forca_peso()
  T = impulso()
  net_force = (T + L) - (W + D)
  return net_force
```

b)



Figura 5. Função distância máxima e implementação da força resultante em *Python*.

Além da simulação física, foram realizados testes computacionais variando parâmetros como massa, pressão interna, ângulo de lançamento e características aerodinâmicas dos componentes impressos em 3D. Esses experimentos permitiram identificar configurações mais adequadas para os lançamentos e orientar modificações nos protótipos utilizados pelos estudantes. Os impactos dessas otimizações no desempenho prático dos foguetes, comparando os diferentes estágios do projeto, estão sintetizados na Tabela 1.

Ano	Evento	Distância máxima
09/2023 (Início dos estudos)	Início dos estudos / MOBFOG	252
2024	Competição Interna / Ajustes	410
02/2025 (Competição)	Competição Nacional (MOBFOG)	452

Tabela 1. Evolução do desempenho e alcance máximo dos foguetes.

Os dados apresentados na Tabela 1 evidenciam um salto quantitativo significativo no alcance dos foguetes, com um aumento de aproximadamente 79% entre o início dos estudos e a fase final. Observa-se que a transição de uma abordagem puramente empírica em 2023 para uma metodologia apoiada por simulação computacional e fabricação digital em 2024 e 2025 foi determinante para o sucesso do projeto, permitindo que os estudantes realizassem ajustes precisos antes mesmo da construção física dos protótipos.

Além da comparação entre os estágios do projeto, os resultados experimentais foram confrontados com os valores teóricos da simulação. O modelo, baseado na massa do foguete, no ângulo de lançamento e na pressão interna estimada, previu um alcance compatível com os valores medidos, que variaram entre 252 m e 452 m. As diferenças observadas são esperadas devido a fatores como vento, imprecisões no lançamento e perdas de pressão. Ainda assim, a comparação entre teoria e experimento orientou ajustes no projeto, como o refinamento das coifas impressas em 3D e a calibração das proporções de vinagre e bicarbonato, contribuindo para aproximar o desempenho dos valores previstos.

A Tabela 2 sintetiza o confronto entre os alcances previstos pela simulação e os alcances máximos obtidos experimentalmente em cada etapa do projeto.

Etapa	**Alcance previsto pela simulação (m)**	**Alcance experimental (m)**
Abordagem empírica (2023)	220–280	252
Simulação e ajustes internos (2024)	380–430	410
Competição nacional (2025)	420–480	452

Tabela 2. Confronto entre os alcances previstos pela simulação e os alcançados experimentalmente.

4.1. Reflexões Pedagógicas

Além dos resultados técnicos obtidos, a experiência proporcionou importantes aprendizagens aos estudantes envolvidos. Durante o desenvolvimento do projeto, os participantes precisaram interpretar fenômenos físicos, desenvolver simulações computacionais, modelar componentes tridimensionais e validar experimentalmente os resultados obtidos.

Entre os principais desafios destacaram-se a compreensão dos modelos matemáticos, a calibração de parâmetros e as limitações de materiais, exigindo acompanhamento docente contínuo. A integração de cultura *maker*, programação e experimentação promoveu autonomia, criatividade e pensamento computacional, permitindo aos alunos do ensino médio o contato com conceitos avançados de forma acessível.

5. Conclusão

O trabalho demonstrou que a integração entre simulação computacional, modelagem física e prototipagem digital constitui uma abordagem viável e eficaz para a otimização de foguetes de garrafa PET em contextos educacionais. Os alcances obtidos nas competições de 2023 e 2025, de 252 m e 452 m, respectivamente, confirmam que o uso de simulações para o teste prévio de parâmetros como ângulo de lançamento, massa, coeficiente de arrasto e proporções vinagre/bicarbonato reduz o desperdício de materiais e orientou decisões de projeto de forma fundamentada.

Além dos ganhos técnicos, a experiência evidenciou contribuições pedagógicas relevantes, pois os estudantes vivenciaram todas as etapas do processo científico, da modelagem teórica à validação experimental, desenvolvendo autonomia, trabalho colaborativo

e pensamento computacional. Como trabalho futuro, pretende-se concluir o treinamento do modelo de visão computacional para a análise automatizada dos voos e avaliar a transferência da metodologia para outros grupos escolares participantes da MOBFOG.

Referências

Araújo, M. S. T. and Abib, M. L. V. B. (2003). Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2):176–194.

Belarmino, J. F., Sousa, R. B., and Coutinho, B. G. (2017). Simulação e modelagem computacional em 3d do movimento de projéteis como ferramenta de apoio ao ensino de física. In *Anais do IV Congresso Nacional de Educação*. Realize Editora.

Bezerra, T., Neri, T., Lopes, D., Silva, J., Araújo, V., Bezerra, F., and Callou, G. (2026). Relato de experiência sobre a aprendizagem baseada em problemas no ensino de iot e computaçao em nuvem no ensino superior. In *Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EDUCOMP)*, pages 579–590. SBC.

Casagrande Junior, S. A. (2020). Foguetes de garrafa pet: uma proposta experimental para trabalhar as leis de newton no ensino médio. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Centro-Oeste.

Conceição, C. P. D. and Admiral, T. D. (2022). Uso de simulação em python para ensinar força de arrasto a uma turma de ensino médio. *Brazilian Journal of Science*, 1(10):64–73.

da Silva, D. L., Seijas, L. M., and Bastos-Filho, C. J. A. (2017). Pedestrian detection in digital videos using committee of motion feature extractors. In *2017 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI)*, pages 1–6.

de Menezes, A. C. S., de Araújo, E. T. M., Junior, S. M. X., Silva, J. D. C., Gomes, S. R., de Lima, T. P. F., and Bezerra, T. V. (2025). Robótica educacional além da competição: Estratégias didáticas com um robô sumô em contextos de aprendizagem ativa. In *Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (Latinoware)*, pages 797–800. SBC.

Fiolhais, C. and Trindade, J. (2003). Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(3):259–272.

Hasanah, U. (2020). Key definitions of stem education: literature review. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 16(3):e2217.

Lara, G. P. and Santos, F. D. (2023). *Metodologia na prática: a ABP e o pensamento computacional: guia prático para a utilização da aprendizagem baseada em problemas aplicada em sala de aula*. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Raabe, A. and Gomes, E. B. (2018). Maker: uma nova abordagem para tecnologia na educação. *Revista Tecnologias na Educação*, 26(26):6–20.

Wesendonk, F. S. and Terrazan, E. A. (2016). Caracterização dos focos de estudo da produção acadêmico-científica brasileira sobre experimentação no ensino de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1):169–203.