



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA

Rodrigo Henrique Saatkamp

**O “problema” da coroa: Como seria se Arquimedes tivesse uma impressora
3D?**

Florianópolis
2025

Rodrigo Henrique Saatkamp

**O “problema” da coroa: Como seria se Arquimedes tivesse uma impressora
3D?**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de licenciatura em química do Centro de ciências físicas e matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de licenciado em química.

Orientador: Prof. Alexandre Luis Parize, Dr.
Coorientadora : Ana Paula Cardoso, M.Sc.

Florianópolis

2025

Saatkamp, Rodrigo Henrique

O "problema" da coroa: Como seria se Arquimedes tivesse uma impressora 3D? / Rodrigo Henrique Saatkamp ; orientador, Alexandre Luis Parize, coorientadora, Ana Paula Cardoso, 2026.

59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Química -
Licenciatura, Florianópolis, 2026.

Inclui referências.

1. Química - Licenciatura. 2. Ensino de Química. 3. Impressão 3D. 4. Princípio de Arquimedes. 5. Experimentação Histórica. I. Parize, Alexandre Luis. II. Cardoso, Ana Paula . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Química - Licenciatura. IV. Título.

Rodrigo Henrique Saatkamp

O “problema” da coroa: Como seria se Arquimedes tivesse uma impressora 3D?

Florianópolis, Dezembro de 2025.

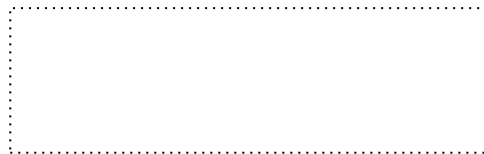
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Graduado e aprovado em sua forma final pelo Curso de Licenciatura em Química.

Florianópolis, 09 de Dezembro de 2025.



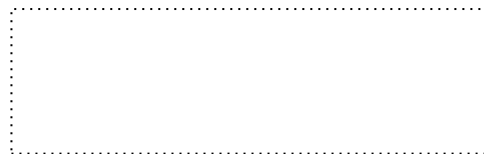
Coordenação do Curso

Banca examinadora



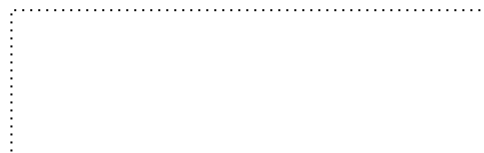
Prof. Alexandre Luis Parize, Dr.

Orientador



Profa. Anelise Maria Regiani, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. José Carlos Gesser, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2025.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pais Marcio e Nilva, irmã Joseane, avós Ancelmo, Helga e Célia pelo apoio e suporte durante toda a jornada até aqui. E a minha namorada Carime por me auxiliar na modelagem do aparato e a sempre estar do meu lado me apoiando e me incentivando.

Ao prof. Dr. Alexandre L. Parize pela orientação, confiança, ensinamento, apoio e amizade e todo o esforço despendido nesta jornada.

A minha coorientadora M.Sc. Ana Paula Cardoso pelas orientações, ideias, discussões e auxílio na escrita do material.

A todos os meus amigos e colegas que de alguma forma participaram do processo e em especial a Morgana por algumas revisões nos 45 do segundo tempo.

E a toda a estrutura fornecida pelo curso de graduação em química da UFSC durante a jornada.

RESUMO

O ensino de conceitos físico-químicos fundamentais, como a densidade, enfrenta desafios que vão além da abstração teórica, esbarrando na escassez de ferramentas didáticas que permitam ao aluno transpor a barreira entre a fórmula matemática e o fenômeno observado. A fragilidade de vidrarias clássicas, o alto custo de reposição e a periculosidade de determinados experimentos muitas vezes podem inviabilizar a realização de práticas experimentais essenciais. Este trabalho teve como objetivo avaliar como um aparato impresso em 3D, inspirado no experimento clássico atribuído a Arquimedes, pode contribuir para o ensino e aprendizagem do conceito de densidade no curso superior de Química. O dispositivo, modelado e impresso em PLA, foi testado na disciplina de Físico-Química Experimental da UFSC. Por meio da análise de conteúdo de Bardin aplicada a relatórios e avaliações, constatou-se que o aparato oferece precisão comparável à picnometria tradicional. Os resultados indicam que o uso da ferramenta potencializou o engajamento dos alunos e a compreensão teórica do empuxo, permitindo-lhes identificar criticamente variáveis interferentes, como a temperatura da água e a presença de bolhas. Conclui-se que a integração entre a experimentação histórica e a impressão 3D, constitui uma estratégia viável para superar barreiras materiais no ensino de Química, promovendo a autonomia e a consolidação do conhecimento científico.

Palavras-chave: Ensino de Química; Impressão 3D; Princípio de Arquimedes; Densidade; Experimentação Histórica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagramas das forças que atuam no recipiente com líquido, antes e depois de mergulhar um objeto.	21
Figura 2 - Peças 3D de modelos de átomos e ligações químicas.	24
Figura 3. Modelos das representações da Teoria Atômica A) Modelo de Dalton; B) Modelo de Thompson; C) Modelo do experimento de Rutherford e D) Modelo de Bohr.	25
Figura 4. Peças de quebra-cabeça impressas utilizando uma impressora 3D.	25
Figura 5 - Modelo em 3D de energia de ionização (à esquerda) e de eletronegatividade (à direita).	26
Figura 6 - Foto do aparato de vidro utilizado como base na confecção do modelo 3D (A) e (B) e foto do aparato sendo utilizado em cima de uma balança analítica (C). ...	26
Figura 7 - Modelo tridimensional do aparato impresso em 3D para a determinação da densidade pelo método de Arquimedes (a), aparato impresso em PLA montado (b), aparato montado e posicionado sobre uma balança analítica aberta (c) e fechada d).	30
Figura 8 - A figura apresenta três semiesferas de PLA boiando durante a realização do experimento.	46

SUMÁRIO

1	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	EXPERIMENTAÇÃO HISTÓRICA NO ENSINO DE QUÍMICA	17
2.2	A EXPERIMENTAÇÃO E A ABORDAGEM CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE (CTS).....	19
2.3	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MATERIAIS PELO MÉTODO DE ARQUIMEDES	20
2.4	DISPOSITIVOS IMPRESSOS POR IMPRESSÃO 3D	23
3	OBJETIVOS	28
3.1	OBJETIVO GERAL	28
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
4	METODOLOGIA	29
4.1	CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DO APARATO.....	29
4.2	ELABORAÇÃO DO ROTEIRO EXPERIMENTAL	31
4.3	APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO E AVALIAÇÃO DA PROPOSTA	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1	ELABORAÇÃO DO APARATO E DO ROTEIRO EXPERIMENTAL.....	33
5.2	ANÁLISE DAS PRODUÇÕES ESCRITAS DOS ESTUDANTES	34
5.1	35
5.2	35
5.2.1	Compreensão conceitual de densidade.....	35
5.2.2	Aplicação de métodos experimentais	36
5.2.3	Desenvolvimento de habilidades experimentais.....	41
5.2.4	Interpretação dos dados experimentais	43
5.2.5	Avaliação da efetividade pedagógica do aparato 3D.....	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE A – ROTEIRO EXPERIMENTAL	54
	APÊNDICE B – MODELAGEM, IMPRESSÃO E MONTAGEM DO APARATO	58
	APÊNDICE C – QUESTÃO AVALIATIVA	63

**ANEXO A – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SÓLIDOS ATRAVÉS
DE UMA COLUNA DE GRADIENTE DE DENSIDADE E PICNOMETRIA 64**

1 JUSTIFICATIVA

A construção do conhecimento científico é um processo dinâmico de criação, renovação e, por vezes, de esquecimento. Metodologias clássicas e de natureza artesanal correm o risco de serem substituídas ou abandonadas à medida que as gerações avançam. Nesse contexto, a escassez de recursos financeiros e a falta de manutenção infraestrutural nas instituições de ensino atuam como catalisadores do desaparecimento de procedimentos experimentais fundamentais. Em ambientes dedicados à experimentação, essa realidade inviabiliza a sustentação de práticas que dependem de aparatos de vidro frágeis, sofisticados ou de alto custo de reposição. A determinação da densidade de sólidos pelo Princípio de Arquimedes é um exemplo emblemático dessa discussão. Historicamente, os aparatos para tais demonstrações (como a balança de Arquimedes) exigem vidrarias específicas e um manuseio delicado. Diante da fragilidade desses materiais e da escassez de técnicos capacitados para sua confecção ou reparo, muitos procedimentos experimentais robustos vêm caindo em desuso. Eles são "esquecidos" não por falta de relevância pedagógica, mas por uma imposição de impossibilidade material.

Essa lacuna é evidenciada no material didático da disciplina em questão; ao abordar a balança de Arquimedes, a carência de infraestrutura acaba por deslocar o foco do experimento prático para uma pesquisa estritamente bibliográfica. Embora essa abordagem estimule a investigação teórica, o processo de aprendizagem é frequentemente limitado pela ausência de recursos físicos que permitam a concretização e a experimentação do fenômeno. Em paralelo a essa problemática, observa-se a ascensão da cultura Maker e do movimento "*Do It Yourself*" (DIY), impulsionados pela popularização e acessibilidade de novas tecnologias, especialmente a impressão 3D. Essa tecnologia permite não apenas a prototipagem rápida, mas a confecção de aparatos em materiais poliméricos duráveis, de "baixo custo" e alta reprodutibilidade. A impressão 3D surge, portanto, como uma alternativa capaz de resgatar experimentos clássicos, superando as limitações do vidro e permitindo que o estudante realize o experimento com tranquilidade, focado apenas no procedimento.

Dessa forma, este projeto propõe unir duas frentes: a lacuna na confecção de uma ferramenta didática para o ensino de química e a oportunidade tecnológica oferecida pela impressão 3D para tanto. Busca-se então, formas de superar as barreiras materiais que podem ocasionar uma negligência frente a experimentos clássicos e fornecer uma solução viável para transpor tal barreira, respondendo a seguinte questão:

"Como um aparato 3D impresso pode auxiliar no ensino e na aprendizagem do conceito de densidade por meio do método de Arquimedes?"

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EXPERIMENTAÇÃO HISTÓRICA NO ENSINO DE QUÍMICA

A experimentação histórica contempla o uso da história da Química associada à experimentação e tem como abordagem principal promover o ensino de conceitos químicos a partir da reconstrução ou contextualização de experimentos clássicos e dos caminhos históricos da ciência. Essa perspectiva busca integrar o conteúdo conceitual, a prática experimental e a compreensão da dimensão histórica e epistemológica do conhecimento químico (Pereira; Alves; Nogueira, 2015).

A inserção da perspectiva histórica no ensino de Química tem o intuito de romper com a visão da ciência como imutável, revelando seu caráter dinâmico, social e cultural. Nesse contexto, a experimentação histórica favorece uma compreensão mais profunda da natureza da ciência, mostrando como teorias, modelos e métodos evoluíram ao longo do tempo (Chamizo, 2024).

Muitos dos obstáculos enfrentados pelos estudantes decorrem da forma descontextualizada com que os conteúdos químicos são tradicionalmente apresentados. A ausência de vínculos entre prática experimental, história da ciência e construção teórica pode tornar a aprendizagem mecânica e pouco significativa (Sousa; Silva Souza; Baldinato, 2023).

A implementação da experimentação histórica pode assumir diferentes formas, dependendo das condições de cada instituição de ensino. Uma estratégia amplamente relatada envolve a reconstrução ou adaptação de experimentos clássicos, como o trabalho de Cortez, Martorano e Antunes-Souza (2023). Os autores descrevem uma intervenção pedagógica que utiliza a história da ciência para ensinar a Lei da Conservação da Massa de Lavoisier a alunos do ensino médio. Como resultado, relatam que, ao utilizar uma sequência temática de aprendizagem com foco na experimentação histórica, estudantes demonstraram maior compreensão conceitual e uma visão menos ingênua sobre o funcionamento da ciência.

Outra vertente relevante está atrelada à formação docente. Pesquisas indicam que muitos professores não tiveram, em sua formação inicial, acesso sistemático à história da Química ou à filosofia da ciência, o que gera inseguranças ao trabalhar com esses conteúdos fora do padrão. Pereira, Alves e Nogueira (2015)

discutem que a inclusão de elementos históricos no ensino exige que o professor compreenda não apenas o conteúdo químico, mas também a dinâmica de construção do conhecimento científico, sendo necessário fortalecer programas de formação inicial e continuada que contemplem essas dimensões.

A motivação e o engajamento dos alunos também são amplamente citados como efeitos positivos dessa abordagem. Atividades experimentais historicamente contextualizadas despertam curiosidade, estimulam a investigação e promovem maior participação nas discussões. A reprodução de experimentos históricos adaptados fomenta a interação entre os estudantes, estimulando a discussão de hipóteses e a comparação entre resultados históricos e contemporâneos. Além disso, essa prática propicia uma reflexão crítica sobre a evolução dos instrumentos e das técnicas científicas ao longo do tempo (Callegario *et al.*, 2015; Sousa; Silva Souza; Baldinato, 2023).

No entanto, a experimentação histórica também apresenta desafios. Entre os principais limites citados estão o tempo reduzido destinado às práticas experimentais na maioria das grades curriculares, a falta de infraestrutura laboratorial em muitas escolas e a necessidade de formação docente adequada para tratar aspectos históricos e epistemológicos da ciência (Pereira; Alves; Nogueira, 2015; Sousa; Silva Souza; Baldinato, 2023). Além disso, algumas práticas históricas envolvem substâncias, aparatos e vidrarias que não podem ser reproduzidos em ambiente escolar devido às normas de segurança e a facilidade de acesso. Nesses casos, versões adaptadas, simulações ou análises de fontes históricas se tornam alternativas viáveis e igualmente promissoras (Chamizo, 2024).

Apesar dos obstáculos, a experimentação histórica representa uma contribuição importante para a educação química contemporânea porque permite superar visões reducionistas e excessivamente conteudistas do ensino. Ao apresentar a Química como ciência em constante construção, ela favorece a compreensão do papel social da ciência, da importância da argumentação baseada em evidências e dos processos investigativos que caracterizam a prática científica. Assim, essa abordagem contribui tanto para a formação de estudantes mais críticos quanto para o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais reflexivas e contextualizadas.

2.2 A EXPERIMENTAÇÃO E A ABORDAGEM CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE (CTS)

A Química é uma ciência que, por natureza, aborda conceitos bastante abstratos, o que representa um desafio significativo para o processo de ensino e aprendizagem. As dificuldades inerentes à transposição entre os níveis microscópico e macroscópico, aliadas ao uso recorrente de termos técnicos e simbologias, exigem estratégias pedagógicas que vão além da simples memorização de fórmulas, estruturas e definições por repetição. Nesse contexto, a experimentação surge como uma ferramenta pedagógica essencial, capaz de promover a visualização das teorias e de auxiliar de forma efetiva na construção do conhecimento científico (Antunes-Souza; Aleme, 2023; Taber, 2013; Talanquer, 2018).

Uma aula experimental significativa deve colocar o estudante em posição ativa, estimulando-o a investigar fenômenos, formular hipóteses, analisar resultados e lidar com os erros, que, quando abordados de forma adequada, podem se tornar uma ferramenta valiosa de aprendizagem. Além disso, a prática experimental deve estimular a observação, a análise crítica e o desenvolvimento da autonomia intelectual, transformando o estudante em protagonista do próprio aprendizado (Pedaste *et al.*, 2015; Wladimyr; Delou, 2024).

Apesar do consenso sobre a relevância de uma abordagem investigativa, sua implementação nas escolas enfrenta diversos obstáculos práticos. Instituições de ensino, especialmente da rede pública, frequentemente lidam com a escassez de recursos, o que inviabiliza a aquisição de equipamentos sofisticados, insumos e materiais de laboratório. Além disso, os aparatos tradicionais, geralmente confeccionados em vidro, apresentam limitações como a fragilidade no manuseio e a necessidade de mão de obra especializada para sua produção, sendo estas profissões que se tornam cada vez mais raras (Gonçalves; Goi, 2019; Sousa; Silva Souza; Baldinato, 2023).

Diante desses desafios, emerge a necessidade de desenvolver recursos didáticos planejados e construídos com o propósito de superar as limitações inerentes ao processo de ensino-aprendizagem. Um produto educacional pode assumir diversas formas, mas seu propósito central é sempre o de fornecer uma ferramenta que viabilize uma prática pedagógica mais dinâmica, investigativa e eficaz (Wladimyr; Delou, 2024).

2.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MATERIAIS PELO MÉTODO DE ARQUIMEDES

A densidade é uma propriedade física fundamental da matéria, definida como a razão entre a massa de um corpo e o volume por ele ocupado (Equação 1). Trata-se de uma propriedade específica, ou seja, cada substância pura possui uma densidade característica que a identifica e a diferencia das demais, sendo um conceito crucial tanto para a caracterização de materiais quanto para a compreensão de diversos fenômenos físico-químicos. (Souza *et al.*, 2015)

Equação 1. Fórmula para o cálculo da densidade.

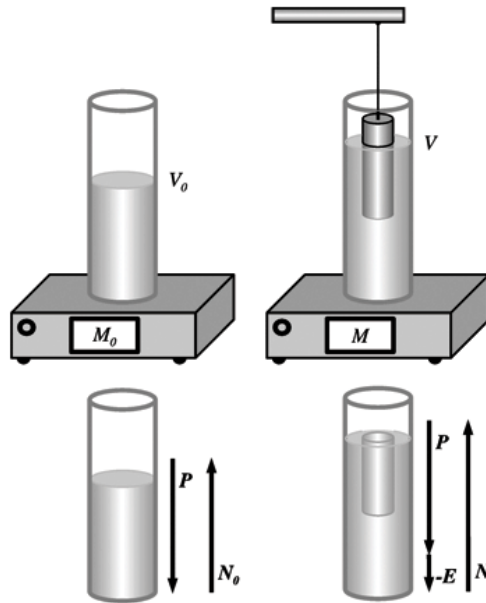
$$\rho = \frac{m}{V}$$

Onde: ρ é a densidade, m a massa e V o volume.

Apesar da simplicidade aparente, o conceito de densidade pode gerar dificuldades de aprendizagem, muitas vezes sendo reduzido à mera aplicação de fórmulas matemáticas sem uma compreensão fenomenológica. Nessa perspectiva, um dos métodos mais clássicos para a determinação da densidade de sólidos, especialmente aqueles com geometria irregular, baseia-se no Princípio de Arquimedes. A descoberta deste princípio é historicamente atribuída ao matemático grego Arquimedes de Siracusa (c. 287 a.C. - 212 a.C.), a quem o rei Hierão II teria o incumbido de verificar se uma coroa encomendada era feita de ouro puro, sem danificar o objeto. A solução surgiu quando Arquimedes, ao entrar em uma banheira, percebeu que o volume de água deslocado era equivalente ao volume de seu corpo imerso, o que o levou à sua famosa exclamação: "Eureka!" ("Achei!"). (Mazali, 2025)

O Princípio de Arquimedes enuncia que "um fluido em equilíbrio age sobre um corpo nele imerso (parcial ou totalmente) com uma força vertical orientada de baixo para cima, denominado empuxo (E), cuja intensidade é igual à do peso do volume de fluido deslocado". A Figura 1 ilustra experimentalmente o Princípio de Arquimedes, mostrando que um corpo imerso em um fluido e as forças que atuam sobre ele. (Barbosa; Breitschaft, 2006)

Figura 1 - Diagramas das forças que atuam no recipiente com líquido, antes e depois de mergulhar um objeto.



Fonte: (Barbosa; Breitschaft, 2006)

Onde, V_0 (volume inicial), M_0 (massa inicial), V (volume final), M (massa final), P (força Peso), N (força Normal) e E (força de Empuxo).

Dessa forma, a força de empuxo, portanto, pode ser expressa matematicamente pela Equação 2:

Equação 2. Fórmula da força de empuxo.

$$E = P_L = m_L \cdot g$$

Onde P_L é o peso do líquido deslocado, m_L é a massa do líquido deslocado e g é a aceleração da gravidade. Como a massa do líquido pode ser expressa em função de sua densidade (ρ_L) e volume (V_L), temos que $m_L = \rho_L \cdot V_L$. Desse modo, a fórmula do empuxo pode ser escrita pela Equação 3:

Equação 3. Fórmula da força de empuxo com a inserção da densidade.

$$E = \rho_L \cdot V_L \cdot g$$

Quando um corpo sólido de massa m_s e densidade ρ_s é totalmente imerso em um líquido, ele desloca um volume de líquido igual ao seu próprio volume (V_s). O

peso real do corpo é $P_s = m_s \cdot g$. Ao ser imerso, a força de empuxo atua sobre ele, e a balança registra um "peso aparente" (P_{AP}), que é a diferença entre o peso real e o empuxo (Equação 4):

Equação 4. Fórmula do peso aparente.

$$P_{AP} = P_s - E$$

A partir das massas medidas em uma balança, onde $P_s = m_s \cdot g$ e $P_{AP} = m_{AP} \cdot g$, podemos determinar a intensidade do empuxo de forma indireta. Adequando as equações, chega-se à expressão que permite calcular a densidade do corpo sólido (ρ_s) (Equação 5) a partir da massa do corpo medida no ar (m_s), sua massa aparente quando imerso no líquido (m_{AP}) e a densidade do líquido (ρ_L):

Equação 5. Fórmula para a densidade do sólido.

$$\rho_s = \frac{m_s}{(m_s - m_{AP})} \rho_L$$

Este método se destaca pela sua precisão, uma vez que depende unicamente de medidas de massa, que podem ser realizadas com grande exatidão em uma balança analítica. A aplicação deste princípio em aulas de física e química experimental, como a descrita por Barbosa e Breitschaft (2006), permite um estudo quantitativo robusto do fenômeno do empuxo e da determinação de densidade, validando um conhecimento construído há milênios com ferramentas acessíveis em um laboratório didático.

É importante salientar, que mesmo sendo de fácil entendimento e aplicação, o uso de aparatos que possam servir para a fixação de conceitos envolvendo o princípio de Arquimedes, ainda esbarram na falta de acesso, materiais que podem ser frágeis e com o tempo serem quebradas e estruturas que não adequem o uso do aparato a prática docente. Deste modo é importante pensar em novas abordagens experimentais que tragam de forma facilitada o acesso a aparatos simples e de fácil manuseio, e ainda possam auxiliar a que o aluno seja o principal ator na atividade experimental no processo de ensino e aprendizagem. Assim, a tecnologia de impressão 3D traz ganhos na construção destes aparatos, foco deste trabalho.

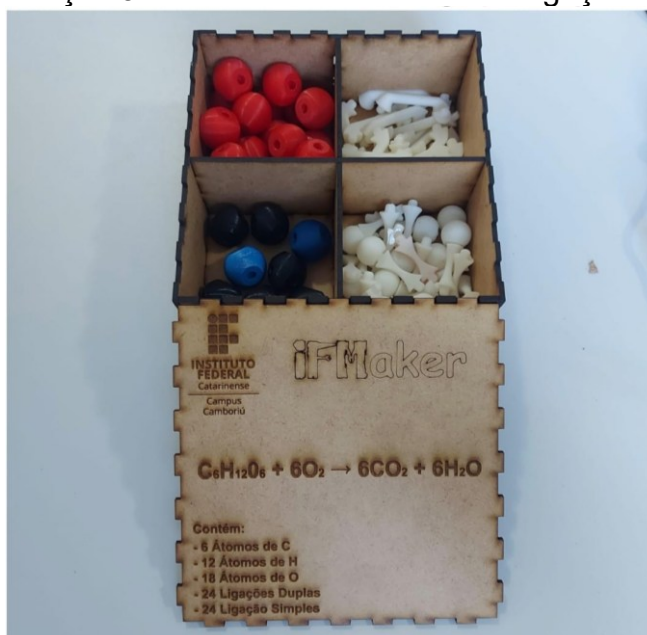
2.4 DISPOSITIVOS IMPRESSOS POR IMPRESSÃO 3D

A transição de técnicas artesanais tradicionais, como a vidraria científica soprada, para métodos de fabricação digital representa um avanço significativo na confecção de materiais didáticos e aparatos experimentais. Nesse cenário, a impressão 3D, ou manufatura aditiva, consolida-se como uma tecnologia de prototipagem rápida capaz de materializar objetos a partir de modelos digitais. Esta inovação dialoga diretamente com a cultura *Maker* e o movimento “faça você mesmo” (*Do It Yourself*), que valorizam a autonomia, a criatividade e o desenvolvimento de projetos com recursos acessíveis (Aguiar, 2016).

No contexto educacional, a impressão 3D apresenta um grande potencial, pois favorece a criação de objetos complexos e customizados que podem ser utilizados como ferramentas pedagógicas. A capacidade de materializar conceitos abstratos em modelos físicos e manipuláveis é uma de suas maiores vantagens, especialmente no ensino de Química, onde a visualização de estruturas moleculares, geometrias e processos em nível microscópico é um desafio constante para os estudantes (Banegas; Kerr; Ogusucu, 2024; Ferreira; Hartwig; Oliveira, 2009).

Diversos trabalhos na literatura demonstram a eficácia da impressão 3D na criação de recursos didáticos para o ensino de Química. O trabalho desenvolvido por Perin e colaboradores (2024) padronizou modelos de átomos e ligações químicas em impressão 3D (Figura 2), criando kits e oficinas que facilitaram a compreensão de conceitos abstratos de Química, Física e Biologia no ensino médio, como fotossíntese, oxidação da glicose e estereoisomeria.

Figura 2 - Peças 3D de modelos de átomos e ligações químicas.

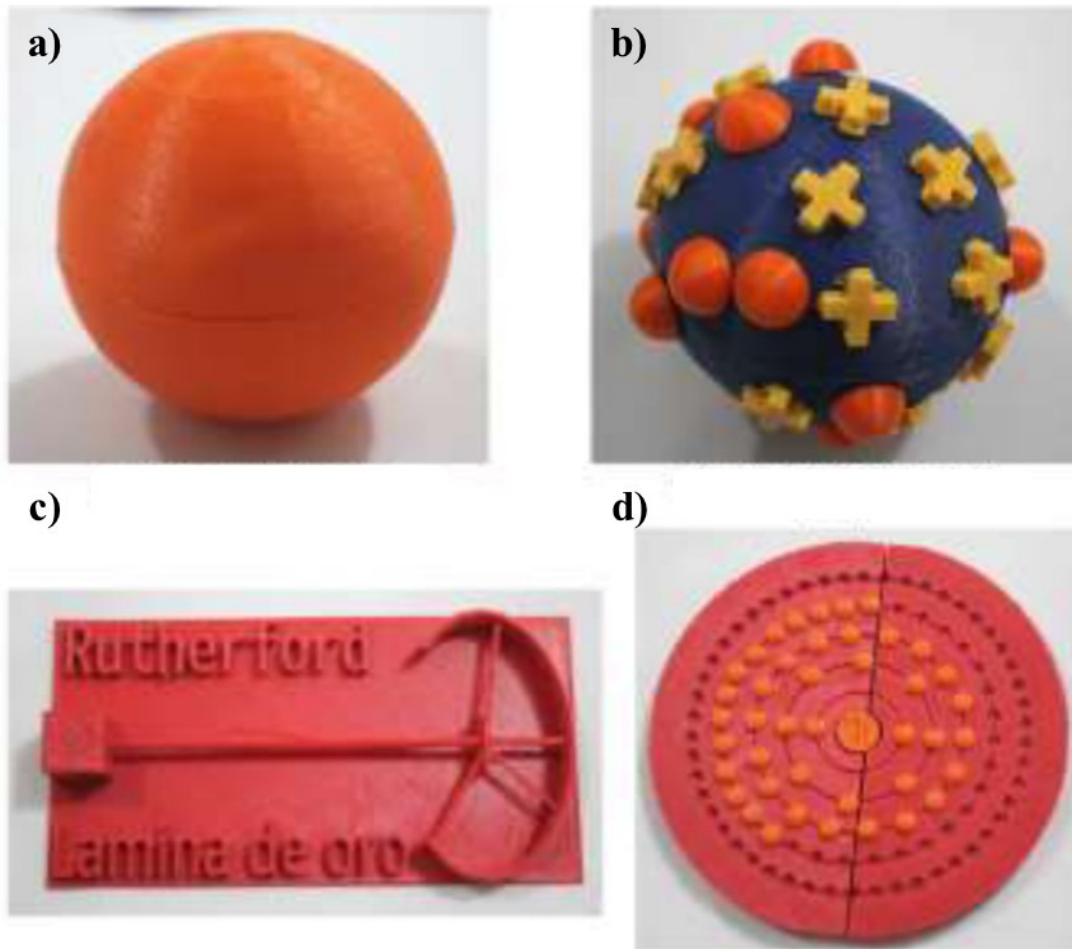


Fonte: (Perin *et al.*, 2023)

Toledo e Rizzatti (2021) fizeram a impressão 3D de modelos atômicos de Dalton, Thompson, experimento de Rutherford e Bohr (Figura 3). O objetivo do trabalho era fornecer um recurso didático tridimensional adaptado, facilitando a compreensão de conceitos abstratos de Química, em particular de modelos atômicos, para alunos com deficiência visual e normovisuais.

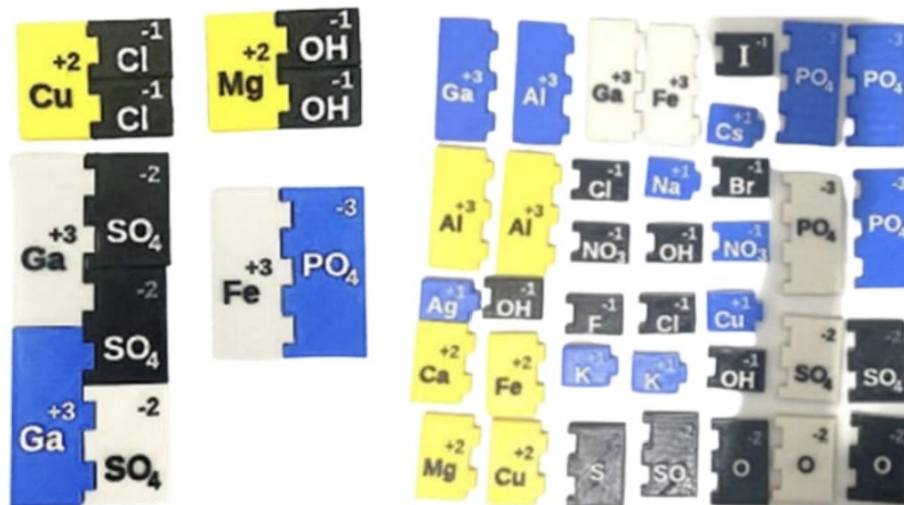
Nascimento *et al.* (2024) realizaram a impressão 3D de peças de quebra-cabeça que representam elementos químicos, seus símbolos, cargas de íons (cátions e ânions) e estados de oxidação (Figura 4). Cada peça possui encaixes específicos, visando elucidar conceitos abstratos de ligações iônicas, melhorando o aprendizado e ligações iônicas, estados de oxidação e formações de sais e facilitando a compreensão para estudantes com deficiências visuais. Por fim, Silva e colaboradores (2024) fizeram a impressão da Tabela Periódica em formatos variados. O objetivo foi promover a visualização das propriedades periódicas (ex: Raio Atômico, Eletronegatividade e Energia de Ionização) por meio da altura (eixo z) dos elementos (Figura 5).

Figura 3. Modelos das representações da Teoria Atômica A) Modelo de Dalton; B) Modelo de Thompson; C) Modelo do experimento de Rutherford e D) Modelo de Bohr.



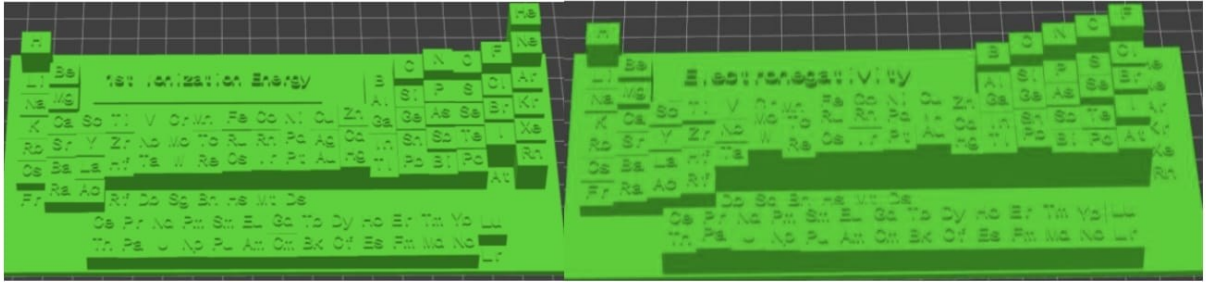
Fonte: (Toledo; Rizzatti, 2021).

Figura 4. Peças de quebra-cabeça impressas utilizando uma impressora 3D.



Fonte: (Nascimento *et al.*, 2024).

Figura 5 - Modelo em 3D de energia de ionização (à esquerda) e de eletronegatividade (à direita).

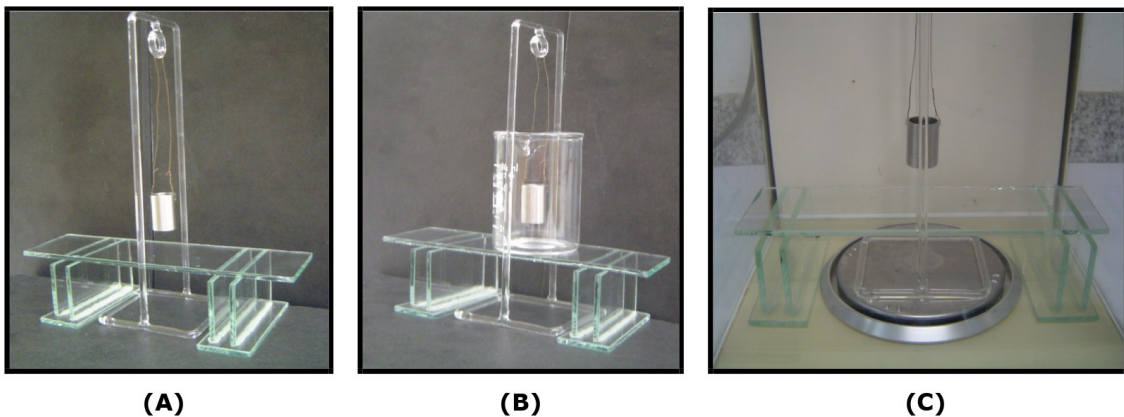


Fonte: (Silva; Santana; Mól, 2024)

Além da criação de modelos representacionais, a impressão 3D viabiliza a construção de aparatos experimentais acessíveis. A confecção de um dispositivo para a determinação de densidade pelo método de Arquimedes em plástico, utilizando a tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*), contorna as dificuldades associadas ao acesso e aquisição, à fragilidade do vidro e à escassez de mão de obra especializada para sua confecção. Atualmente comercialmente é mais recorrente encontrar pessoas e empresas que realizam serviços de impressão 3D, do que vidreiros e outros profissionais que demandam de habilidades manuais para produção de algo material.

A Figura 6 ilustra o aparato clássico de vidro utilizado como referência. Nota-se, neste arranjo, um claro contraste: embora o princípio físico do experimento parecer simples, a sua execução com esta vidraria revela uma complexidade operacional significativa.

Figura 6 - Foto do aparato de vidro utilizado como base na confecção do modelo 3D (A) e (B) e foto do aparato sendo utilizado em cima de uma balança analítica (C).



(A)

(B)

(C)

Fonte: (Mazali, 2025)

A fragilidade inerente ao material e a rigidez das peças tornam a adaptação e o manuseio tarefas delicadas. Esse fator é agravado em turmas numerosas ou com pouca vivência laboratorial, onde a exigência de motricidade fina para evitar quebras e acidentes acaba por desviar o foco do aprendizado conceitual para a mera segurança operacional. Essa situação cria barreiras que vão além do aprendizado do aluno, impactando diretamente a atuação docente: o professor muitas vezes acaba desviando sua atenção da mediação pedagógica para a segurança, preocupando-se mais com a hipótese de perder o único aparato disponível ou evitar acidentes, do que com a efetiva orientação do processo de aprendizado

Diante desse cenário, a proposta de transpor o aparato para a tecnologia de impressão 3D surge como uma solução estratégica. Ela não apenas mitiga os riscos de manuseio e a insegurança de docentes e discentes, tornando o experimento mais acessível, como também viabiliza o ensino do conceito de densidade, baseado no princípio de Arquimedes, para uma ampla faixa etária de alunos. Por fim, o desenvolvimento deste trabalho, ao readequar um aparato histórico por meio de uma tecnologia atual, alinha-se intrinsecamente à perspectiva de ensino de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar como um aparato impresso em 3D, inspirado no experimento clássico atribuído a Arquimedes, pode contribuir para o ensino e aprendizagem do conceito de densidade no curso superior de Química.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um aparato 3D impresso para utilização no ensino do conceito de densidade a partir do princípio de Arquimedes;
- Desenvolver e implementar uma atividade de experimentação histórica que integre o aparato 3D à reconstrução contextualizada do experimento clássico que seja acessível e possa ser implementado em qualquer laboratório que possua balança analítica;
- Analisar as percepções dos estudantes sobre a aprendizagem promovida pela abordagem, considerando aspectos como motivação, engajamento, clareza conceitual e relação entre ciência, história e prática experimental em uma turma do ensino superior de química, na disciplina QMC5430;
- Avaliar as potencialidades e limitações pedagógicas do uso de um aparato 3D em práticas de experimentação histórica, identificando contribuições para a formação inicial de futuros químicos.

4 METODOLOGIA

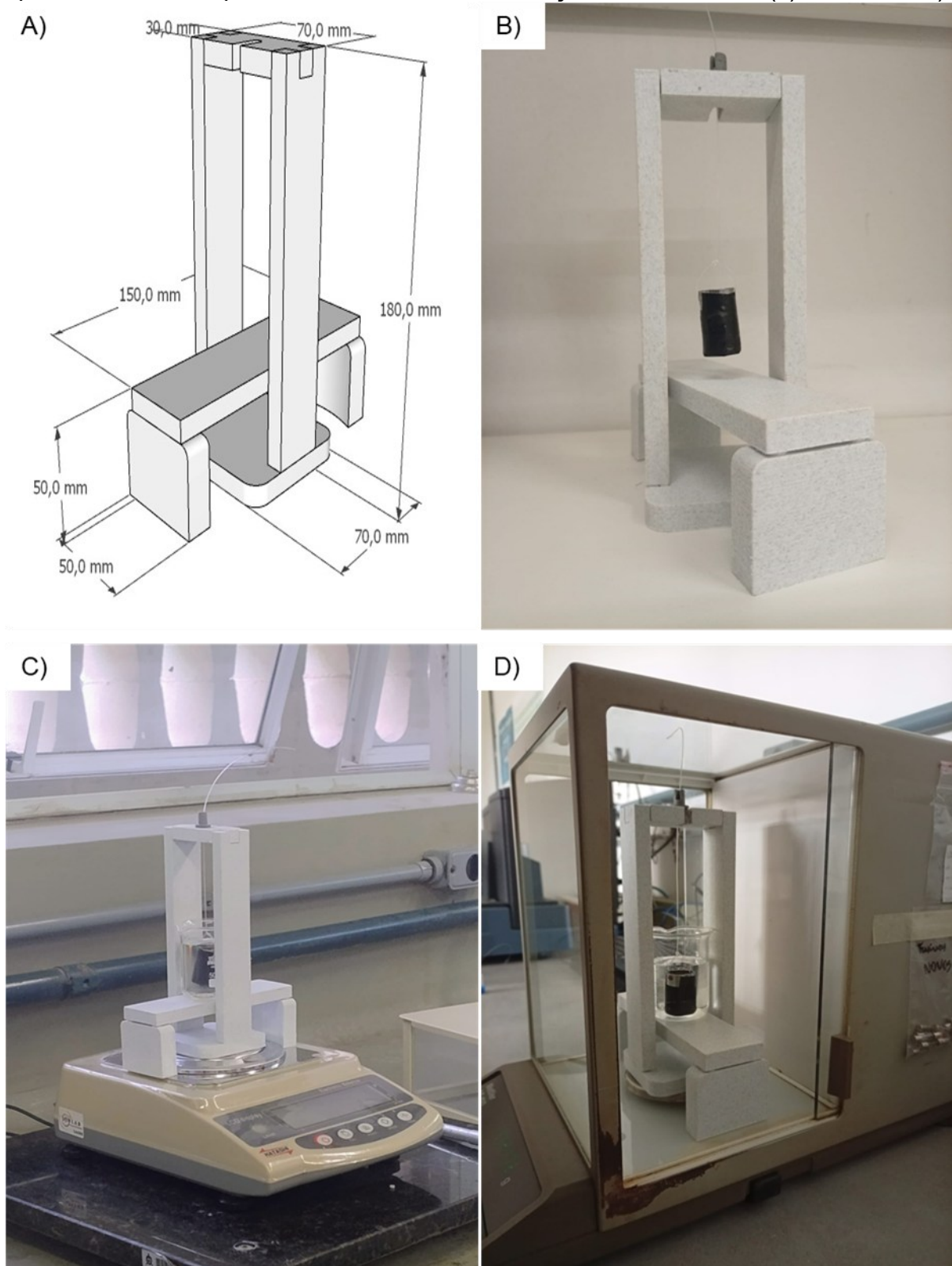
4.1 CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DO APARATO

Para responder à questão de pesquisa, foi necessário elaborar um aparato que permitisse refazer o experimento de Arquimedes. Este aparato foi impresso em impressora 3D a partir de um modelo tridimensional gerado no *software* “*Sketchup*”, focando em um modelo simples que possa ser utilizado em uma variedade de balanças. A Figura 7a apresenta o modelo tridimensional e as medidas adotadas, que, quando montado, possui dimensões de 150 x 70 x 180 mm. Na Figura 7b é possível observar o aparato já impresso em partes, montado e contendo o cesto, confeccionado em metal, pendurado por um fio de nylon preso a uma borracha na parte superior. Já as Figuras 7c e 7d mostram o aparato posicionado sobre uma balança analítica com e sem abertura, respectivamente. Houve a necessidade de ajustes para além do modelo 3D, como a mudança no material do cesto e sua altura em relação a base do aparato. Essas mudanças podem variar conforme diferentes fatores, como o material utilizado para impressão e o tipo de impressora. Visando a acessibilidade dos materiais utilizados para confeccionar o aparato, os materiais necessários para a confecção deste aparato e seus respectivos custos aproximados são mencionados a seguir, totalizando um investimento total de 71,00 reais.

- Impressão 3D em filamento de políácido láctico (PLA) - [Preço aproximado em nov/2025 R\$ 71,00]
- Fio de Nylon (Linha de pescar) – [Material de descarte R\$ 00,00]
- Copinho de metal - [Material de descarte R\$ 00,00]
- Pedaco de borracha - [Material de descarte R\$ 00,00]
- Béquer de 50 mL – [Material disponível no laboratório R\$ 00,00]
- Balança analítica – [Material disponível no laboratório R\$ 00,00]

Para fins de reprodução deste aparato, as especificações técnicas de cada peça e os parâmetros de impressão utilizados encontram-se detalhados no Apêndice B.

Figura 7 - Modelo tridimensional do aparato impresso em 3D para a determinação da densidade pelo método de Arquimedes (a), aparato impresso em PLA montado (b), aparato montado e posicionado sobre uma balança analítica aberta (c) e fechada d).



Fonte: próprio autor.

4.2 ELABORAÇÃO DO ROTEIRO EXPERIMENTAL

Foi elaborado um roteiro experimental para ser desenvolvido por estudantes do curso de graduação em química da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) na disciplina de 7ª fase, QMC5430 – Físico-química experimental 2, no segundo semestre de 2025. Para tal foram utilizados como referência dois roteiros experimentais, sendo eles: “DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SÓLIDOS ATRAVÉS DE UMA COLUNA DE GRADIENTE DE DENSIDADE E PICNOMETRIA”, utilizado na disciplina QMC5430 do curso de UFSC, apresentado no Anexo A e “*DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SÓLIDOS PELO MÉTODO DE ARQUIMEDES*” desenvolvido por Italo Odone Mazali, utilizado no laboratório de química do estado sólido, no Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. (Mazali, 2025)

Desta maneira, o roteiro experimental foi desenvolvido de modo a possibilitar o ensino do conceito de densidade através da determinação da densidade de sólidos utilizando o método de Arquimedes, utilizando uma balança de Arquimedes. O roteiro da proposta experimental é apresentado no APÊNDICE A deste trabalho e foi estruturado da seguinte maneira:

1. Objetivos
2. Introdução (Princípio de Arquimedes)
3. Materiais, Equipamentos e Reagentes
4. Procedimento Experimental
5. Cálculos e Resultados
6. Questionário para Discussão
7. Anexos
8. Referências

4.3 APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO E AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta experimental foi aplicada a uma turma da disciplina QMC5430 - Físico-Química Experimental 2 para alunos de 7ª fase do curso de graduação em química da UFSC no semestre de 2025.2, no dia 30/11/2025.

Conforme mencionado, o experimento baseia-se no roteiro original da disciplina (Anexo A). A proposta metodológica consistiu na aplicação do novo

procedimento (Apêndice A) imediatamente após os alunos finalizarem as etapas de **coluna de gradiente de sacarose** e de **picnometria** (itens *a* e *b* do roteiro original). Para a execução do item *c*, os discentes receberam o novo guia e tiveram tempo dedicado à leitura e à familiarização com o conteúdo. Na sequência, realizou-se uma explanação da abordagem do aparato desenvolvido, destacando-se as distinções fundamentais entre a aplicação do Princípio de Arquimedes neste dispositivo e as duas metodologias executadas anteriormente.

A montagem do aparato e a execução do experimento foram realizadas pelo autor do trabalho sob supervisão do professor. Após a realização do experimento e da coleta dos dados pelos discentes, a eficácia da proposta didática foi verificada através dos relatórios experimentais das equipes que participaram da atividade experimental, da análise do material usado na discussão de seminário de revisão do experimento anterior à prova e das respostas a uma questão avaliativa inserida na avaliação (Apêndice C). Para fins de contextualização, o relatório é composto pelos seguintes itens: capa, resumo, palavras-chave, introdução, objetivos, materiais e métodos, resultados e discussões, conclusão e referências.

Os dados foram analisados seguindo a metodologia de análise de conteúdo BARDIN (2016). O *corpus* de análise consistiu nos dois relatórios entregues ao professor responsável pela disciplina e nas respostas da questão avaliativa de número 3 durante a avaliação escrita. A categorização foi realizada a partir do levantamento das unidades de contexto, sendo as categorias:

- Compreensão conceitual de densidade
- Aplicação dos métodos experimentais
- Desenvolvimento de habilidades experimentais
- Interpretação dos dados experimentais
- Avaliação da efetividade pedagógica do aparato 3D

Por se tratar de uma atividade de pesquisa, foi encaminhado um termo de consentimento livre e esclarecido. Para manter o anonimato dos estudantes, as falas extraídas do material coletado foram codificadas como **AX**, em que **X** corresponde a um número que vai de 1 a 4 relativo a cada um dos 4 estudantes analisados, e **RYXX**, sendo **Y** o número do relatório e **XX** a identificação dos dois alunos correspondentes à dupla de cada relatório.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ELABORAÇÃO DO APARATO E DO ROTEIRO EXPERIMENTAL

O roteiro apresentado no Anexo A apresenta três diferentes métodos para a determinação da densidade de sólidos para materiais poliméricos, sendo o seguinte trecho do item c do procedimento experimental ressaltado:

“c) Balança de Arquimedes

1. Busque na literatura ou endereços eletrônicos confiáveis, o princípio para determinação da densidade de sólidos utilizando o princípio de Arquimedes.
2. Discuta com o professor ou monitor a montagem que poderia ser adaptada no laboratório para determinação experimental da densidade de um determinado corpo de prova.”

Os autores deste roteiro empregam uma proposta de ensino investigativa, na qual se propõe que o aluno busque o conhecimento em torno dos conceitos e métodos para que se determine a densidade pelo método da balança de Arquimedes. Prosposta esta, vinculada a uma possível falta de um aparato/material adequado para a realização de um procedimento experimental como são abordadas nos itens a e b.

O segundo roteiro mencionado na metodologia, desenvolvido por Mazali, 2025 retrata uma proposta experimental focada na utilização do método de Arquimedes para a determinação da densidade de sólidos, sendo eles maciços ou porosos. A proposta experimental está atrelada à utilização de uma balança de Arquimedes, mencionada anteriormente na (Figura 1), aparato de vidro que permite uma base fixa para apoiar um recipiente com água e uma base móvel que permite realizar pesagens com diferentes objetos dentro de um certo imerso com água. O mesmo roteiro também conta com uma interessante introdução à teoria, um ponto importante para a compreensão da prática experimental e dos conceitos envolvidos no método de Arquimedes para determinar a densidade de sólidos.

O desenvolvimento de um modelo tridimensional baseado no aparato de vidro, possibilitou sua materialização através da impressão 3D em um material polimérico mais resistente. O aparato mostrou-se de fácil manuseio, montagem e

utilização, tendo em vista que, durante a prática, todos os alunos participaram ativamente. Tanto o roteiro experimental quando o aparato impresso apresentou bons resultados e são possíveis de serem inseridos ao ambiente de ensino onde foi testado.

É fundamental pontuar que esta proposta experimental não deve ser interpretada como uma metodologia rígida. A respeito do modelo 3D, seu detalhamento técnico apresentado neste trabalho fornece uma base sólida para que outros docentes possam não somente reproduzi-lo, mas, acima de tudo, adaptá-lo. Parametros como o tipo de filamento e o tipo de impressora utilizada podem resultar em alterações estruturais no aparato final, necessitando de adaptações para o funcionamento adequado do equipamento. Dessa forma, cabe ao docente compreender seu contexto e as limitações do seu equipamento, para que as adaptações ocorram de maneira adequada. Essa postura alinha-se à visão de Gonçalves; Goi, (2019), segundo os quais a formação docente progressista não pode reduzir os professores a 'meros aplicadores de propostas de ensino alheias e descontextualizadas'. Dessa maneira, espera-se que o educador utilize o presente projeto como ponto de partida para exercer sua autonomia, adequando a ferramenta ao seu contexto pedagógico.

5.2 ANÁLISE DAS PRODUÇÕES ESCRITAS DOS ESTUDANTES

A apresentação dos dados a seguir encontra-se estruturada segundo a categorização ora citada, abordando, em cada uma delas, os dados retirados dos roteiros, da questão avaliativa discursiva aplicada na prova e das concepções do autor durante a aula.

Os relatórios R114 (Relatório 1, desenvolvido por A1 e A4) e R223 (Relatório 2, desenvolvido por A2 e A3) foram entregues em sua integralidade, cumprindo todos os requisitos obrigatórios. A singularidade de cada documento reside na abordagem conceitual, na profundidade das discussões, nas conclusões inferidas a partir das observações e, sobretudo, na construção individual do conhecimento evidenciada por cada equipe. Após a leitura atenta de todo o corpus de análise, os fragmentos textuais foram categorizados em cinco classes: Compreensão conceitual de densidade; Aplicação dos métodos experimentais; Desenvolvimento de

habilidades experimentais; Interpretação dos dados experimentais; e Avaliação da efetividade pedagógica do aparato 3D.

5.2.1 Compreensão conceitual de densidade

As unidades de análise categorizadas como “Compreensão conceitual de densidade” correspondiam aos trechos do *corpus* de análise que envolviam algum tipo de explicação conceitual sobre densidade. De maneira geral, os estudantes citaram uma definição adequada no resumo e/ou introdução, conforme é observado no recorte R114 e R223

R114: *A densidade é uma propriedade física intrínseca fundamental que expressa a relação entre a massa e o volume de uma substância.*

R223: *A densidade é uma propriedade intensiva definida pela razão entre massa e volume, representando a quantidade de matéria presente em um determinado espaço, diretamente relacionada à estrutura atômica e iônica dos materiais.*

Em relação aos conceitos abordados, é importante destacar os excertos abaixo indicam a capacidade dos discentes de relacionar a densidade com situações fora do ambiente educacional. As respostas mostram uma associação direta entre as propriedades físico-químicas dos sólidos e a sua correta identificação e classificação.

R114: *No caso dos materiais sólidos, sua determinação é essencial para a identificação de substâncias, avaliação da pureza, controle de qualidade industrial e estudo do comportamento de materiais sob diferentes condições físico-químicas.*

R223: *Além de caracterizar diferentes materiais, a densidade fornece informações relevantes sobre a compactação, pureza e composição estrutural de substâncias sólidas, líquidas ou gasosas.*

A literatura descreve a densidade como uma propriedade intensiva que expressa a relação entre massa e volume, sendo fundamental na caracterização de materiais (Hawkes, 2004). Durante a avaliação do *corpus*, não foram encontradas concepções alternativas, podendo ser resultado dos estudantes serem orientados a confeccionar o relatório com base na literatura científica. Adicionalmente, os alunos já estão em uma fase final do curso, em que é esperada uma construção de conhecimento mais aprimorada e concisa. A respeito da avaliação escrita, apesar de

não serem questionados sobre o conceito direto de densidade, é possível observar a consolidação do conhecimento para três alunos.

A1: “sólidos que tivessem densidade inferior a 1 g mL^{-1} provavelmente boariam na superfície, pois na teoria, a densidade na superfície é de 1 g mL^{-1} ...”

A2: “todas as amostras com $d < 1 \text{ g mL}^{-1}$ boariam.”

A4: “Como utilizamos a água para estes experimentos fica impossível a quantificação das densidades inferiores a da água.”

A consolidação do conhecimento aparenta estar em sua capacidade de relacionar a densidade dos objetos aos líquidos utilizados tanto na coluna de gradiente quanto no método de Arquimedes, indicando que não seria possível determinar a densidade de sólidos menos densos que a água. Raghavan (2017), observou em seu estudo que a relação entre densidade do sólido e densidade da água, que determina o comportamento de flutuação, é bem consolidada pela física clássica e pelo princípio de Arquimedes.

5.2.2 Aplicação de métodos experimentais

Tratando-se de uma disciplina experimental, é fundamental analisar o conhecimento construído sobre os métodos, assegurando que o discente compreenda as funções e as futuras aplicações dos experimentos abordados. Embora o foco deste trabalho seja avaliar o método de Arquimedes, é indispensável mencionar também a coluna de gradiente de sacarose e a picnometria, o que permite estabelecer um comparativo entre as técnicas. É importante salientar que o presente trabalho foi aplicado em um contexto experimental previamente delineado para a determinação da densidade por meio de diferentes técnicas.

Ambos os relatórios trouxeram uma proposta inicial de conceituação da coluna de gradiente de sacarose, alinhada com o conceito da técnica experimental, assim como o procedimento experimental, como exemplificado nos trechos a seguir:

R114: *A primeira baseia-se na introdução de um corpo sólido em uma coluna contendo um gradiente contínuo de densidade [...]. O sólido desloca-se até a altura em que a densidade do fluido se iguala à sua própria, permanecendo em equilíbrio. Essa técnica é especialmente útil na separação de componentes com pequenas diferenças de densidade, como é comum em misturas de polímeros.*

R223: *Esse sistema depositava gotas das soluções resultantes em uma coluna de vidro [...], a qual possuía uma escala métrica. [...] a coluna foi preenchida com soluções de diferentes concentrações de sacarose, formando um gradiente de concentrações comprovado com a coloração cada vez menos intensa de acordo com as diluições. [...] à medida que a coluna era preenchida, alíquotas das soluções eram coletadas com uma seringa, aferindo-se seus índices de refração com um refratômetro. A partir da relação linear entre índice de refração e densidade [...], pôde-se construir uma relação linear entre a altura da coluna e a densidade da solução.*

Na prova, dois estudantes apresentaram pontos importantes desse método. Sendo que o A2 apresentou uma resposta mais completa e coerente com o procedimento experimental.

A1: “Na coluna o gradiente de densidade só é estável pq a sacarose forma uma solução muito viscosa, dificultando mistura...” “alterando a densidade conforme a solução era distribuída na coluna...”

A2: “preencheu-se a coluna com um gradiente de densidade de sacarose, aferidas pelo índice de refração da solução estabeleceu-se uma relação linear entre a altura da coluna e a densidade. As amostras eram adicionadas à coluna, determinando-se a densidade de acordo com a altura de equilíbrio que atingiam.”

Para a picnometria, ambos os relatórios apresentaram as definições e procedimentos necessários. O destaque recai sobre os alunos A1 e A4, pois conseguiram conciliar o conceito teórico e a descrição da técnica em apenas um parágrafo.

R114: *A segunda técnica utilizada foi a picnometria, método clássico e amplamente aplicado para determinar a densidade de sólidos e líquidos. O procedimento utiliza um frasco de volume conhecido (picnômetro), que é preenchido inicialmente apenas com o líquido de interesse e, em seguida, com o sólido cuja densidade se deseja medir. A partir das massas obtidas nas diferentes etapas e conhecendo-se a densidade do líquido empregado (geralmente água ou outro solvente apropriado), calcula-se com precisão a densidade da amostra sólida.*

Em contrapartida os alunos A2 e A3 trouxeram em seu relatório, além do termo massa específica de líquidos e sólidos, também descrevem que o método é uma comparação entre volume e massa.

R223: *Trata-se de uma técnica que determina a densidade e a massa específica de líquidos e sólidos, por meio da comparação entre o volume e a massa de uma amostra e os de um líquido padrão, geralmente água.*

Na questão de prova, observou-se que os alunos apresentaram o procedimento experimental de forma mais sucinta, mas contemplando etapas fundamentais para um bom resultado. O picnômetro foi o procedimento mais bem descrito, no qual os alunos mostram boa compreensão e detalhamento na prova, podendo ser resultado da simplicidade/repetibilidade do método.

A1: *“Na picnometria explorou-se o deslocamento da água, que depende das interações (molhabilidade, presença de poros ou bolhas).” “Na picnometria pesou-se os picnômetros vazios, com solvente [...] pela diferença de massa achou-se os volumes e obteve-se a densidade...”*

A2: *“mediam-se as massas do picnômetro vazio, preenchido com água e [...] com água e sólido.” “determinava-se a relação matemática p/ determinar a densidade...”*

Compreensão do método de picnometria.

A3: *“consiste na determinação da densidade com base na massa do picnômetro...” “necessitamos pesar o picnômetro vazio [...] somente com água [...] com o polímero e com ambos...”*

Por fim, o método de Arquimedes foi trabalhado com o mesmo nível de profundidade e atenção que os métodos anteriores. As análises dos materiais preparados e entregue pelos discentes, retratam o conceito e o procedimento experimental para determinar a massa real, massa aparente do sólido e a correção de cálculo necessário, considerando a temperatura e a densidade do líquido ao qual o sólido é imerso, como observado no relatório R114 em um trecho da introdução e outro nos resultados.

R114 (Introdução): *a densidade também pode ser determinada com base no princípio de Arquimedes, que relaciona o empuxo exercido por um fluido sobre um corpo imerso à diferença entre seu peso no ar e o peso quando submerso. A partir dessa diferença e do conhecimento da densidade do líquido de imersão, é possível calcular a densidade do sólido com boa precisão.*

R114 (Resultados): *O método baseia-se na diferença entre o peso de um corpo no ar e o peso quando submerso em um*

fluido de densidade conhecida, permitindo calcular a densidade do sólido de forma indireta, desde que a temperatura e a eliminação de bolhas de ar sejam adequadamente controladas [...].

No contexto trabalhado em sala, a discussão apresentada demonstra um olhar atento dos alunos sobre dois principais pontos de erro: a correção da densidade do líquido a partir da temperatura e a ausência de bolhas no sistema. Em contrapartida, a equipe R223 apresenta, inicialmente, um contexto histórico do método, abordando o conceito de empuxo. Essa abordagem possivelmente advém do material introdutório do roteiro (Apêndice A) e do conhecimento prévio do aluno A2, conforme observado durante a prática experimental.

Introdução: *Arquimedes [...], formulou o princípio que descreve a força exercida por um fluido sobre um corpo imerso [...]. Esse princípio estabelece que a intensidade dessa força, conhecida como empuxo, é igual ao peso da porção de fluido deslocada pelo corpo [...]. A explicação teórica [...] está relacionada à diferença de pressão entre dois pontos de um fluido em equilíbrio, a qual resulta na força líquida vertical atuante sobre o corpo. [...] esse princípio é amplamente utilizado para determinar a densidade de sólidos por meio da pesagem hidrostática [...]. Quando o corpo é pesado no ar, a balança registra sua massa real, e, ao ser totalmente imerso em um líquido, passa a indicar a massa aparente, que por sua vez é menor que a massa real, pois o empuxo reduz o peso efetivo do corpo.*

Na prova, assim como observado no tópico do gradiente, a descrição dos procedimentos e princípios foi menos detalhada do que nos relatórios. Os alunos A2 e A3 apresentaram pontos relevantes, como a determinação das massas real e aparente, enquanto o aluno A1 manteve-se apenas ao procedimento experimental.

A1: “a diferença de peso no ar e na água revela o volume deslocado...” “através de um aparato construído por impressora 3D [...] pesou-se o compartimento vazio [...] depois com o sólido [...] depois com H₂O também.”

A2: “determinava-se a massa real e aparente do composto.” “massa aparente foi medida com um aparato impresso em 3D sob uma balança analítica.”

A3: “consiste na determinação da densidade de sólidos a partir de um aparato encaixado na balança, onde um béquer com água é posicionado sendo o valor de seu peso tarado e logo após o recipiente com as amostras e mergulhado nele e

através da massa encontrada (massa aparente do sólido) é possível calcular a densidade”.

A avaliação, realizada por meio dos relatórios e do exame escrito, também incidiu sobre a capacidade dos discentes de distinguir as nuances conceituais e operacionais entre os métodos de determinação de densidade. Investigou-se a habilidade dos alunos de contrastar os diferentes métodos, destacando, de forma crítica, aspectos como a precisão, as vantagens comparativas e as limitações intrínsecas a cada técnica. O grupo 1 realizou uma análise comparativa entre os métodos e a literatura, embora possa haver equívoco entre precisão e exatidão. Contudo, esse é um indicativo de falha na retenção de conteúdos que abordam figuras de mérito de metodologias analíticas, como precisão e exatidão. Ou ainda pode ser atrelado ao uso errôneo dos termos no dia a dia, de maneira coloquial, o que pode dificultar o entendimento das palavras no sentido químico. Já o Grupo 2 elaborou uma descrição sucinta dos processos para elucidar as diferenças.

R114: *A picnometria apresentou os resultados mais precisos [...] demonstrando alta confiabilidade. A coluna de gradiente de densidade mostrou-se eficiente para fins qualitativos, permitindo diferenciar polímeros de densidades próximas, embora mais suscetível a erros associados à estabilidade do gradiente e ao formato das amostras. Já o método de Arquimedes, utilizando o aparato 3D, forneceu resultados comparáveis aos da picnometria, com baixo desvio em relação aos valores teóricos. Os três métodos mostraram-se complementares e eficazes, evidenciando que a escolha da técnica depende [...] das características físicas do material em análise.*

R223: *No método da coluna de gradiente, soluções de sacarose [...] foram utilizadas para formar um gradiente contínuo em uma coluna, permitindo identificar a densidade de polímeros. Na picnometria, mediu-se a massa do picnômetro vazio, com água e com a amostra, possibilitando calcular a densidade dos sólidos pela variação de massa e volume de água deslocada. Já o princípio de Arquimedes baseou-se na diferença entre a massa real e a massa aparente das amostras submersas, determinada por meio de um aparato impresso em 3D.*

Na prova, a comparação entre as partes operacionais dos métodos foi mais limitada. Os estudantes A1 e A4 conseguiram fazer uma comparação e distinção operacionais dos métodos para avaliar a possibilidade de determinação da

densidade de um composto com $d < 1 \text{ g mL}^{-1}$ e a adequação de cada um. Já a A3 fez uma comparação direta, sem justificativa das atribuições e com comentários distintos do relatório.

A1: “Se fossemos usar a coluna, sólidos que tivessem densidade inferior a 1 g mL^{-1} provavelmente boiariam na superfície [...]. Já pelos outros métodos a determinação seria mais viável.”

A3: “Picnometria – precisa e viável”

“Coluna – demorada, não muito precisa e não muito viável”

“Arquimedes – não é muito preciso e não é viável”

A4: “Todos os métodos são viáveis porém com frequências analíticas distintas” “A principal diferença entre eles é no quão direta a análise da densidade é medida, utilizando apetrechos e diferentes abordagens.”

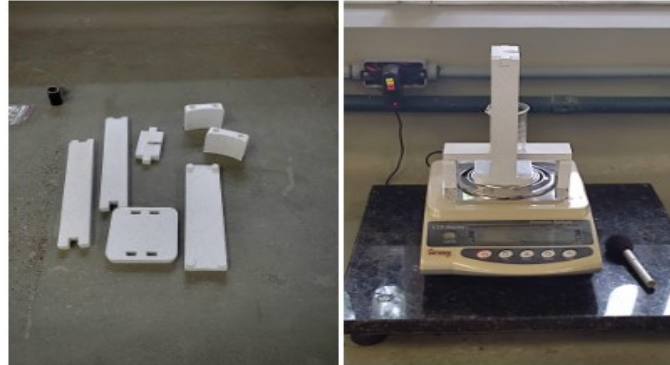
5.2.3 Desenvolvimento de habilidades experimentais

Além da concepção de conceitos teóricos, é de suma importância visualizar o desenvolvimento das habilidades experimentais necessárias ao seguimento de carreira nas áreas acadêmica, profissional ou educacional. A proposta aqui exposta, assim como os outros dois experimentos mencionados no roteiro da disciplina, apresenta grande potencial para o desenvolvimento das habilidades experimentais dos alunos. Nota-se, no trecho recortado do relatório R114, que se trata de um procedimento experimental rico em detalhes, que aponta uma gama de passos e traz, inclusive, uma figura que mostra o aparato impresso desmontado e outra que mostra o aparato montado e pronto para uso.

R114: *O procedimento experimental consistiu inicialmente na identificação e pesagem, em balança analítica seca, das amostras sólidas [...], registrando-se os valores obtidos como massa real. [...] montou-se o aparato experimental, posicionando o suporte impresso em 3D sobre o prato da balança e colocando um béquer contendo água destilada sobre o suporte, em volume suficiente para manter o porta-amostra totalmente submerso, sem transbordar. O copo porta-amostra foi então suspenso no aparato [...] sem encostar no fundo ou nas laterais do béquer. [...] em seguida, cada amostra foi cuidadosamente introduzida no porta-amostra submerso [...] registrou-se o valor indicado pela balança, correspondente à massa aparente (mAP) da amostra. [...] O procedimento foi repetido para todas as amostras (Cobre, PLA e Nylon). Por fim, a temperatura da água destilada utilizada foi medida e*

registrada com o auxílio de um termômetro, a fim de assegurar a correção dos cálculos de densidade com base na densidade do líquido na temperatura experimental.

Figuras 2 e 3. Aparato impresso em 3D desmontado e montado, respectivamente.



Fonte: Autoria própria (2025).

É necessário salientar que o relatório R1 apresentou maior riqueza de detalhes experimentais e de imagens representativas. Em contrapartida, o relatório R2 se mostrou mais sucinto, como demonstra o trecho a seguir, e serviu de parâmetro para os demais experimentos.

R223: *Por fim, avaliou-se a massa de outras amostras sólidas utilizando o princípio de Arquimedes. Para isso, pesou-se previamente a massa dos sólidos (m_c) e, em seguida, montou-se o aparato previamente impresso em 3D sobre a balança com um béquer preenchido com água. Assim, o porta-amostras foi adicionado, suspenso por um fio, ao béquer, zerando-se a balança. A partir disso, para cada amostra, removeu-se o porta amostras do béquer e adicionou-se a mesma massa pesada nele. Finalmente, submergiu se novamente o porta-amostras no béquer com o fio, averiguando-se a massa do sistema resultante (m_{AP}).*

Em termos de condução da prática experimental, cabe citar apenas a seção referente ao método de Arquimedes, no qual o autor estava presente no laboratório. Tratando-se de uma turma de apenas quatro alunos, foi possível observar que o aluno A2 foi o primeiro a demonstrar interesse na utilização do aparato e na realização do experimento, sendo este o aluno que já possuía um conhecimento prévio do conceito de empuxo. Como o experimento foi realizado com três diferentes metais, os alunos A1 e A3 também realizaram o experimento, podendo pontuar que o aluno A1, além de realizar o experimento, anotou todos os dados necessários para os cálculos.

Vale ressaltar que a determinação da densidade por este método foi quantificada em sala de aula, sendo acompanhada e orientada pelo autor desse trabalho. Ao observar os apêndices D notamos que os únicos alunos a realizar os cálculos da densidade pelo método de Arquimedes, foram os alunos A1 e A4, assim como, trouxeram detalhes que podem causar problemas na aquisição de dados, como mostra o trecho a seguir.

R114: *O método baseia-se na diferença entre o peso de um corpo no ar e o peso quando submerso em um fluido de densidade conhecida, permitindo calcular a densidade do sólido de forma indireta, desde que a temperatura e a eliminação de bolhas de ar sejam adequadamente controladas [...].*

Em contrapartida, as respostas de A3 e A2 evidenciam maior atenção ao procedimento experimental, tanto na avaliação quanto no relatório. Ambos não apresentam cálculos de densidade na avaliação e, em vez disso, adotam um roteiro mais simplificado. A3 trouxe, além de uma descrição do experimento, uma ilustração do aparato que aparenta estar sobre a balança, mostrando a parte móvel (que determina o peso aparente) e a parte fixa (apoio do béquer com água).

A1:

o determinacão da
brato encaixado na
posicionado



Observa-se aqui um exemplo claro da singularidade do processo de aprendizagem: o desempenho de cada aluno reflete o contexto em que está inserido, bem como suas concepções prévias e experiências anteriores.

5.2.4 Interpretação dos dados experimentais

A dupla R114 apresentou, além dos resultados corretos, um detalhamento textual do passo a passo para a realização dos cálculos pelos 2 primeiros métodos. Já o R223 apresentou os resultados corretos, de forma mais direta, em uma tabela, o que indicou melhor compreensão do conteúdo pelo aluno.

R114: *os picnômetros foram pesados inicialmente vazios e depois cheios com água destilada. Com base na diferença entre as massas obtidas e utilizando a densidade da água a 22,0 °C ($\rho = 0,9978 \text{ g.cm}^{-3}$), foi possível calcular o volume de*

cada picnômetro por meio da equação de densidade $\rho = m/v$ [...].

[...] a massa de cada polímero foi obtida subtraindo a massa do picnômetro vazio da massa do picnômetro contendo o polímero. Em seguida, a massa de água adicionada foi calculada pela diferença entre a massa do picnômetro com polímero e água e a massa do picnômetro contendo apenas o polímero. Para converter essa massa de água em volume, utilizou-se a densidade da água a 22,0 °C ($\rho = 0,9978 \text{ g.cm}^{-3}$). O volume ocupado pelo polímero foi determinado subtraindo o volume de água obtido do volume total do picnômetro [...]

Através dos dados obtidos pelo gráfico, cuja equação da reta é igual a $y = -843,322 x + 986,358$, calculou-se então a densidade relativa aos polímeros que foram inseridos após a coluna pronta.

R223:

Tabela 08: valores de densidade obtido para as diferentes metodologias e aqueles reportados na literatura científica.

Metodologia	PLA α	PLA β	Nylon	Cobre
Coluna de gradiente / g mL^{-1}	>1,171	1,118	1,158	-
Piconometria / g mL^{-1}	1,247	1,122	1,153	-
Princípio de Arquimedes / g mL^{-1}	-	1,160	1,146	8,873
Literatura científica / g mL^{-1}	1,20 a 1,26		1,12 a 1,14	8,96

A comparação direta entre os relatórios e a avaliação evidencia a importância da elaboração do relatório para a consolidação do conhecimento, visto que apenas os alunos A1 e A4 (R1) apresentaram cálculos baseados no Princípio de Arquimedes. Conforme mencionado, o estudante A1 foi responsável pelo registro dos dados. Ademais, após questionamentos sobre a densidade dos sólidos, ao autor deste trabalho foi solicitado que auxiliasse na aplicação da fórmula.

Por se tratar de uma turma de ensino superior e de final de curso, a apresentação dos resultados e a discussão dos mesmos foram amplas e coerentes nas comparações. Seguem alguns recortes em que R1 descreve que, apesar dos métodos de determinação da densidade serem diferentes, todos foram capazes de fornecer valores coerentes e próximos aos da literatura.

R1: *Para o PLA, a densidade teórica é de $1,24 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto que a do Nylon é de $1,14 \text{ g.cm}^{-3}$. O erro experimental atrelado é de 0,80% para o PLA novo, 0,87% para o Nylon e 9,67% para o PLA antigo. Os erros demonstram o quão precisa é a determinação usando a piconometria. Para o PLA antigo,*

pode-se atrelar o erro maior ao fato de ser uma amostra mais antiga, e também a variação de densidade conforme o lote do polímero. [...] Foi observada uma discrepância entre o valor de densidade obtido na coluna de gradiente (erros experimentais iguais a 5,64%, 0,87% e 9,67% para os polímeros[...]) e aquele determinado por picnometria, apenas para o PLA novo. A picnometria, por basear-se em medições diretas de massa e volume, é reconhecida por sua alta precisão e reprodutibilidade [...]. Os resultados para o Nylon e o PLA antigo mostraram excelente concordância entre as duas técnicas [...]. A comparação entre os três métodos [...] evidencia que, apesar de apresentarem fundamentos distintos, todos foram capazes de fornecer resultados coerentes e próximos dos valores de literatura.

R2 também estabelece a viabilidade dos métodos para determinação da densidade, apesar de mais sucintos.

***R2:** Percebe-se que a diferença significativa entre os resultados obtidos pelas metodologias empregadas é baixa. Para os polímeros, em relação aos valores estabelecidos na literatura científica, pode-se atribuir o desconhecimento de suas origens, validades e formas de armazenamento, por exemplo, como fontes de erros experimentais, embora os valores ainda estejam coerentes, principalmente para o PLA α . Para o cobre, pôde-se determinar, satisfatoriamente, sua densidade, sendo uma possível fonte de erro a oxidação da superfície de cobre metálico.*

R1 apontam eficácia para o aparato impresso em 3D e o método de Arquimedes e formulando uma importante conclusão a respeito da maior porcentagem de erro entre os métodos, para o PLA.

R1: Para o Nylon e o cobre, as densidades obtidas [...] apresentaram excelente concordância com os valores teóricos [...], com erros de 0,74% e 0,78%, respectivamente. Esses resultados indicam que o aparato impresso em 3D foi eficiente em proporcionar medições estáveis e reprodutíveis, demonstrando que a técnica pode ser aplicada com sucesso para materiais de diferentes densidades, desde polímeros até metais. Já para o PLA novo, observou-se um valor menor da densidade experimental [...] representando um erro de 6,20%. Essa diferença pode estar associada à incompleta imersão da amostra, conforme registrado durante a medição, o que reduz a força de empuxo aparente e, conseqüentemente, o valor calculado da densidade.

O apontamento do erro de 6,20% no valor da densidade pelo método de Arquimedes para a amostra de PLA ocorreu devido a uma imersão incompleta da

amostra no cesto, o que descreveu de forma assertiva a redução do empuxo. Este fato foi registrado pelo autor e é apresentado na Figura 8.

Figura 8 - A figura apresenta três semiesferas de PLA boiando durante a realização do experimento.



Fonte: próprio autor.

Nas provas apenas A1 e A4 compararam os dados, possivelmente atrelados aos apontamentos e discussões já realizados.

A1: “os 3 métodos mostraram valores muito parecidos [...] demonstrando que todos eles são métodos eficientes e precisos.” “pois os valores também ficaram próximos da literatura das amostras usadas.”

A4: “o método mais simples (picnometria) foi o que mais chegou perto dos valores da literatura, enquanto os outros ficaram mais desparelho”.

A dificuldade mencionada anteriormente por A4, quanto à impossibilidade de medir densidades inferiores à da água no experimento de Arquimedes, obriga o estudante a confrontar suas concepções prévias sobre densidade e empuxo. Esse movimento dialoga diretamente com a noção de “obstáculos epistemológicos”, descrita por Bachelard (1996), segundo a qual o entendimento científico se constrói a partir da superação de ideias intuitivas, muitas vezes arraigadas.

5.2.5 Avaliação da efetividade pedagógica do aparato 3D

A categorização das respostas demonstra que os alunos conseguem estabelecer comparações fundamentadas entre a precisão, a viabilidade e a

aplicabilidade dos métodos. Tal habilidade é essencial em cursos de formação de químicos, pois envolve julgamento crítico, análise de incertezas e compreensão da relação entre teoria e prática — competências destacadas por Driver, Newton e Osborne (2000) como fundamentais no processo de alfabetização científica.

O fato de os alunos argumentarem sobre vantagens e limitações demonstra que a atividade cumpriu o papel previsto pela abordagem de experimentação investigativa, que, segundo Carvalho e Gil-Perez (2011), promove aprendizagem ativa ao colocar o estudante como protagonista do processo científico. A discussão dos dados obtidos reforça essa perspectiva: ao avaliar o aparato de Arquimedes e compará-lo à picnometria e à coluna de líquidos, os participantes engajam-se em práticas próximas às da ciência real — interpretar resultados, identificar erros, e justificar conclusões.

Assim, as respostas evidenciam que o aparato 3D impresso contribui para o processo formativo ao proporcionar uma *experiência concreta* do Princípio de Arquimedes, integrando modelagem, experimentação e reflexão histórica. Justi (2015) destaca que materiais didáticos inovadores, especialmente aqueles que incorporam modelos físicos manipuláveis, ampliam a compreensão de conceitos abstratos e favorecem o entendimento profundo — o que se observa claramente nos relatos dos alunos.

R1 cita em seu relatório que o experimento por eles vivenciado tem grande importância na formação de novos profissionais. Outro destaque é a percepção de A1 e A2 em relação à adaptação do sistema à balança analítica, correlacionando isso com uma minimização de erros durante a manipulação.

R1: Resultados: *Esses resultados indicam que o aparato impresso em 3D foi eficiente em proporcionar medições estáveis e reprodutíveis, demonstrando que a técnica pode ser aplicada com sucesso para materiais de diferentes densidades, desde polímeros até metais. [...] O uso do aparato impresso em 3D mostrou-se uma alternativa prática e eficiente, permitindo a adaptação do sistema à balança analítica e minimizando erros de manipulação. Assim, essa abordagem se destaca como uma solução didática e tecnicamente viável para a determinação de densidade de sólidos em laboratório.*

As respostas dos alunos 3 e 4 evidenciam que a atividade possibilitou distinguir com clareza as diferenças operacionais entre os métodos de determinação de densidade. O Aluno 3, por exemplo, destaca que a picnometria é o método “mais

preciso e viável”, enquanto tanto a coluna de líquidos quanto o método de Arquimedes apresentam limitações de precisão ou de aplicabilidade. Essa percepção é compatível com a literatura, que aponta a necessidade do aluno compreender a *natureza instrumental* da medida e suas fontes de incerteza Hodson (2011), ampliando a consciência metrológica no processo de formação em Química.

Além disso, ao analisar criticamente os resultados dos diferentes métodos, os alunos reproduzem, em escala didática, parte do processo histórico que levou Arquimedes a formular seu princípio. Como argumenta Matthews (1989), a experimentação histórica permite que o estudante compreenda a ciência como uma prática humana, cheia de limitações instrumentais e decisões metodológicas. O uso do aparato 3D, portanto, não é apenas uma reprodução moderna do experimento, mas uma *estratégia didática* que aproxima o aluno de um modo histórico de fazer ciência.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou responder como um aparato impresso em 3D, inspirado no experimento clássico de Arquimedes, pode auxiliar no ensino do conceito de densidade, visando a formação de novos químicos. A partir do desenvolvimento do dispositivo e de sua aplicação prática, constatou-se que a tecnologia de impressão 3D se apresenta como uma ferramenta poderosa para a superação de obstáculos materiais no ensino de ciências.

O aparato desenvolvido atendeu plenamente aos objetivos técnicos, mostrando-se uma alternativa robusta e de fácil reprodução frente às vidrarias tradicionais, que são frágeis e de difícil acesso. Os resultados experimentais obtidos pelos estudantes demonstraram a precisão do equipamento, que forneceu valores de densidade com excelente concordância com a literatura e comparáveis às outras técnicas utilizadas.

Sob a ótica pedagógica, a análise dos relatórios e das avaliações evidenciou que a atividade promoveu a consolidação efetiva do conhecimento. Os estudantes não apenas executaram o procedimento, mas também demonstraram capacidade crítica ao comparar métodos (picnometria, coluna de gradiente e Arquimedes), discutindo a viabilidade, a precisão e as limitações de cada técnica. Destaca-se, ainda, a percepção dos alunos sobre a influência de variáveis experimentais, como a temperatura e a "molhabilidade" das amostras. A comparação entre R1 e R2 reforça a importância do relatório como ferramenta de sistematização do aprendizado, onde a escrita científica permitiu aos alunos reordenarem e fixarem os conceitos vivenciados na prática.

Portanto, conclui-se que a recontextualização de experimentos históricos por meio de tecnologias modernas, como a impressão 3D, não apenas democratiza o acesso a laboratórios de qualidade, mas também enriquece o processo de ensino-aprendizagem. Esta abordagem aproxima o estudante da prática científica real, em que a construção de instrumentos e a análise de erros são partes integrantes da construção científica. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a adaptação deste aparato para o ensino médio e a investigação de novos dispositivos impressos que contribuam para o ensino e a aprendizagem de propriedades físico-químicas, ampliando o repertório de recursos didáticos acessíveis.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. D. C. D. UM PROCESSO PARA UTILIZAR A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. 2016. 226 f. Dissertação – Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.

ANTUNES-SOUZA, T.; ALEME, H. G. Reinterpretando o triângulo de Johnstone: o papel constitutivo da linguagem e suas contribuições para a experimentação no ensino de Química. *Revista Cocar*, vol. 19, no 37, p. 1–20, 2023.

BACHELARD, G. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Contraponto. Rio de Janeiro: 1996. 316 p.

BANEGAS, R.; KERR, D.; OGUSUCU, R. O uso da impressão 3D no ensino de ciências: aplicação em oficinas interdisciplinares. *CONTRAPONTO: Discussões Científicas e Pedagógicas em Ciências, Matemática e Educação*, vol. 5, no 8, p. 77–89, 2024.

BARBOSA, V. C.; BREITSCHAFT, A. M. S. Um aparato experimental para o estudo do princípio de Arquimedes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 28, p. 115–122, 2006.

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.

CALLEGARIO, L. J.; HYGINO, C. B.; DE ALVES, V. L. O.; LUNA, F. J.; LINHARES, M. P. The history of science in chemistry teaching: A review. *Sociedade Brasileira de Química*, vol. 7, no 3, p. 977–991, 1 maio 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150053>.

CARVALHO, A. M. P. de; GIL-PEREZ, D. Formação de professores de ciências : tendências e inovações. Em: CORTEZ (org.). *MA - Capítulos de Livros - Educação*. 2011.

CHAMIZO, J. A. Las Prácticas Experimentales de la Química. *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química*, vol. 5, no 01, p. e052402, 13 dez. 2024.

CORTEZ, C. F.; MARTORANO, S. A. D. A.; ANTUNES-SOUZA, T. Abordagem Histórica no Ensino de Química: o entendimento da conservação da Massa. *Chemical Education in Point of View*, vol. 7, p. 1–17, 2023.

DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. 287–312 p, 2000.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. de. Ensino Experimental de Química: Uma Abordagem Investigativa Contextualizada. *QUÍMICA NOVA NA ESCOLA*, vol. 32, no 2, 2009.

GONÇALVES, N. R. P.; GOI, M. E. J. EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: UMA REVISÃO DE LITERATURA. *Revista de Debates em Ensino de Química*, no 9, p. 136–152, 2019.

HAWKES, S. J. The Concept of Density. *Chemical Education Today 14 Journal of Chemical Education*, vol. 81, no 1, 2004.

HODSON, D. Teaching and learning about science. *Science Education*, vol. 95, no 1, p. 186–188, jan. 2011. <https://doi.org/10.1002/sce.20416>.

JUSTI, R. RELAÇÕES ENTRE ARGUMENTAÇÃO E MODELAGEM NO CONTEXTO DA CIÊNCIA E DO ENSINO DE CIÊNCIAS. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, vol. 17, no spe, p. 31–48, nov. 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s03>.

MATTHEWS, M. R. A Role for History and Philosophy in Science Teaching. *Interchange*, vol. 20, no 2, p. 3–15, 1989.

MAZALI, O. I. Determinação da Densidade de Sólidos pelo Método de Arquimedes. 2025. Disponível em:

https://lqes.iqm.unicamp.br/images/vivencia_lqes_meprotec_densidade_arquimedes.pdf. Acessado: 10 nov. 2025.

NASCIMENTO, R. F. do; RAMOS, F. T. da C.; ALMEIDA, S. M. de; NASCIMENTO, J. A. Gamificação e Impressão 3D: Transformando o Ensino de Ligações Iônicas com Modelos Interativos. *Ensino & Pesquisa*, vol. 22, no 3, p. 65–75, 18 dez. 2024. <https://doi.org/10.33871/23594381.2024.22.3.9263>.

PEDASTE, M.; MÄEOTS, M.; SIIMAN, L. A.; DE JONG, T.; VAN RIESEN, S. A. N.; KAMP, E. T.; MANOLI, C. C.; ZACHARIA, Z. C.; TSOURLIDAKI, E. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Elsevier Ltd*, vol. 14, p. 47–61, 2015.

PEREIRA, F. A.; ALVES, G. S.; NOGUEIRA, V. S. A história da química para alunos do curso de formação inicial de professores: possibilidades, dificuldades e reflexões. Goiás, 2015.

PERIN, K.; VIEIRA, D. J. S. S.; BANEGAS, R. S.; OGUSUCU, R.; KERR, D. S. A MODELAGEM MOLECULAR IMPULSIONADA PELA IMPRESSÃO 3D: APLICAÇÃO EM OFICINAS INTERDISCIPLINARES E NO ENSINO DE CIÊNCIAS. XIVFICE Feira de Iniciação Científica e Extensão, 2023.

RAGHAVAN, N. Teaching Archimedes' principle to sixth graders without teaching mass, density, pressure, volume or buoyancy. *Teachingscience*, vol. 63, no 3, 2017.

SILVA, W. P. da; SANTANA, R. de O.; MÓL, G. de S. Impressão 3D e Ensino de Química: um levantamento de recursos educacionais sobre as propriedades periódicas. XXII Encontro Nacional de Ensino de Química ENEQ - UFPA, 2024.

SOUSA, B. M. de; SILVA SOUZA, J. P. Da; BALDINATO, J. O. Experimentos históricos nos livros didáticos: implicações para o ensino de química. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 40, no 2, p. 357–391, 1 set. 2023. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2023.e93230>.

SOUZA, P. V. T. de; SILVA, M. D.; AMAURO, N. Q.; MORI, R. C.; MOREIRA, P. F. da S. D. Densidade: Uma Proposta de Aula Investigativa. *Química Nova na Escola*, vol. 37, no 2, p. 120–124, 2015. <https://doi.org/10.5935/0104-8899.20150028>.

TABER, K. S. Revisiting the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. vol. 14, no 2, p. 156–168, 2013. <https://doi.org/10.1039/c3rp00012e>.

TALANQUER, V. Progressions in reasoning about structure-property relationships. *Royal Society of Chemistry*, vol. 19, no 4, p. 998–1009, 2018. <https://doi.org/10.1039/c7rp00187h>.

TOLEDO, K. C.; RIZZATTI, I. M. Modelos atômicos e a impressora 3D: proposta para a inclusão de alunos deficientes visuais no ensino de química. *Scientia Naturalis*, vol. 3, no 2, p. 473–485, 2021.

WLADIMYR, M. A.; DELOU, C. M. C. Revisão sistemática das revisões sobre o ensino da química no Brasil Systematic review on chemistry teaching in Brazil. *REVISTA PONTO DE VISTA*, vol. 13, no 1, p. 1–18, 2024.

APÊNDICE A – ROTEIRO EXPERIMENTAL

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SÓLIDOS POLÍMEROS E METAIS PELO MÉTODO DE ARQUIMEDES

1. Objetivos

- Determinar a densidade absoluta de diferentes sólidos poliméricos e metais utilizando o Princípio de Arquimedes.
- Empregar o aparato de baixo custo desenvolvido por impressão 3D (conforme descrito neste TCC) para realizar as medições de densidade.
- Comparar as densidades experimentais dos polímeros e do metal com os valores encontrados na literatura e nos experimentos realizados na etapa anterior.

2. Introdução (Princípio de Arquimedes)

A densidade (ρ) é uma propriedade física intensiva da matéria, definida como a razão entre a massa (m) de um corpo e o volume (V) por ele ocupado ($\rho = mV^{-1}$). Existem vários métodos experimentais para determinar a densidade de sólidos e o Princípio de Arquimedes fornece um método preciso para essa finalidade pois permite determinar a densidade de sólidos, mesmo os de geometria irregular.

O princípio afirma que um corpo total ou parcialmente imerso em um fluido recebe uma força vertical para cima, denominada empuxo (E), cuja intensidade é exatamente igual ao peso do volume de fluido deslocado (P_L). Quando um corpo é pesado no ar, a balança mede sua "massa real" (m_c). Ao ser pesado totalmente imerso em um líquido (como a água), a balança registrará uma "massa aparente" (m_{AP}). Essa massa aparente é menor que a massa real, pois o empuxo exercido pela água "alivia" parte do peso do objeto.

Dessa forma, a diferença entre a massa real e a massa aparente ($m_c - m_{AP}$) é a massa do fluido deslocado, que, por sua vez, nos permite encontrar o volume do objeto, assumindo que a densidade do fluido (ρ_L) é conhecida. A partir das relações estabelecidas, é possível derivar a fórmula final (Equação 1) para o cálculo da densidade do sólido (ρ_s):

$$\text{Equação 1:} \quad \rho_s = \frac{m_c}{(m_c - m_{AP})} \rho_L$$

Onde:

- ρ_c = densidade do sólido.
- m_c = massa do sólido no ar (massa real).
- m_{AP} = massa aparente do sólido imerso no líquido.
- ρ_L = densidade do líquido (neste caso, água destilada).

A densidade da água (d_L) varia significativamente com a temperatura e pode ser encontrado na Tabela 1, uma vez que a temperatura da água é conhecida.

Tabela 1: Densidades da água em função da Temperatura.

Décimos de grau										
°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	0,9999	0,9999	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9998
10	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9991	0,9990	0,9988	0,9986	0,9984
20	0,9982	0,9980	0,9978	0,9976	0,9973	0,9971	0,9968	0,9965	0,9963	0,9960
30	0,9957	0,9954	0,9951	0,9947	0,9944	0,9941	0,9937	0,9934	0,9930	0,9926
40	0,9922	0,9919	0,9915	0,9911	0,9907	0,9902	0,9898	0,9894	0,9890	0,9885
50	0,9881	0,9876	0,9872	0,9867	0,9862	0,9857	0,9852	0,9848	0,9842	0,9838
60	0,9832	0,9827	0,9822	0,9817	0,9811	0,9806	0,9800	0,9765	0,9789	0,9784
70	0,9778	0,9772	0,9767	0,9761	0,9755	0,9749	0,9743	0,9737	0,9731	0,9724
80	0,9718	0,9712	0,9706	0,9699	0,9693	0,9686	0,9680	0,9673	0,9667	0,9660
90	0,9653	0,9647	0,9640	0,9633	0,9626	0,9619	0,9612	0,9605	0,9598	0,9591

3. Materiais e Equipamentos

- Aparato 3D para determinação de densidade com suporte e copo porta amostra (Figura 1a).
- Balança analítica (precisão de 0,0001 g ou 0,001 g).
- Béquer (50 mL).
- Água destilada.
- Termômetro.
- Amostras sólidas (em formatos adequados para caber no porta amostra): Ácido Polilático (PLA), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e Cobre.

4. Procedimento Experimental

Identifique e meça a massa de cada amostra sólida (PLA, ABS e Cobre) na balança analítica seca. Anote estes valores em sua tabela de dados como massa real (m_c).

Monte o experimento:

1. Posicione o suporte 3D do aparato sobre o prato da balança (Figura 1b).
2. Coloque o béquer sobre o suporte e adicione água destilada em volume suficiente para que o copo porta amostra fique totalmente submerso, sem transbordar (Figura 1c).
3. Pendure o copo porta amostra 3D no aparato sobre a balança (Figura 1d). Certifique-se de que o porta amostra esteja totalmente imerso na água, sem tocar o fundo ou as laterais do béquer.
4. Aguarde a estabilização do sistema e tare (zere) a balança. O visor deve marcar "0,0000 g".
5. Coloque cuidadosamente a primeira amostra (ex: Cobre) dentro do porta amostra submersa com o auxílio de uma espátula ou pinça.

6. *Cuidado*: Verifique se não há bolhas de ar presas à amostra ou a porta amostra. Caso haja, utilize um pequeno bastão ou o fio fino para desalojá-las.
7. Aguarde a estabilização da leitura e anote o valor exibido. Este valor é a massa aparente (m_{AP}) da amostra.
8. Retire a porta amostra com a amostra. Seque o porta amostra e coloque-o de volta na posição submersa. Tare a balança novamente.
9. Repita os passos 5 a 8 para as demais amostras: PLA e ABS.
10. Ao final das medições, utilize o termômetro para medir e anotar a temperatura da água destilada utilizada.

5. Cálculos e Resultados

1. Organize os dados coletados e preencha a Tabela 2 abaixo.
2. Para cada amostra, com base na Equação 1, calcule a densidade do sólido (d_c) usando a equação de Arquimedes.

Tabela 2: Tabela de Resultados.

Amostra	m_c (g)	m_{AP} (g)	T da Água (°C)	ρ_L (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³) (Teórico)	ρ_s (g/cm ³) (Calculado)
PLA						
ABS						
Cobre						

6. Questionário para Discussão

1. Apresente a tabela de resultados completa, incluindo os valores calculados de densidade para as quatro amostras.
2. Pesquise na literatura os valores de densidade padrão (teóricos) para PLA, ABS e Cobre. Compare-os com os valores experimentais que você obteve e discuta possíveis fontes de erro (ex: bolhas de ar, precisão da balança, variação de temperatura da água).
3. Com base nos valores calculados, todos os materiais deveriam afundar em água? Isso condiz com o que você observou experimentalmente? Justifique.
4. Qual amostra apresentou o maior valor de massa aparente (m_{AP}). Qual apresentou o menor? Relacione essa medida com o conceito de empuxo.

Anexos:

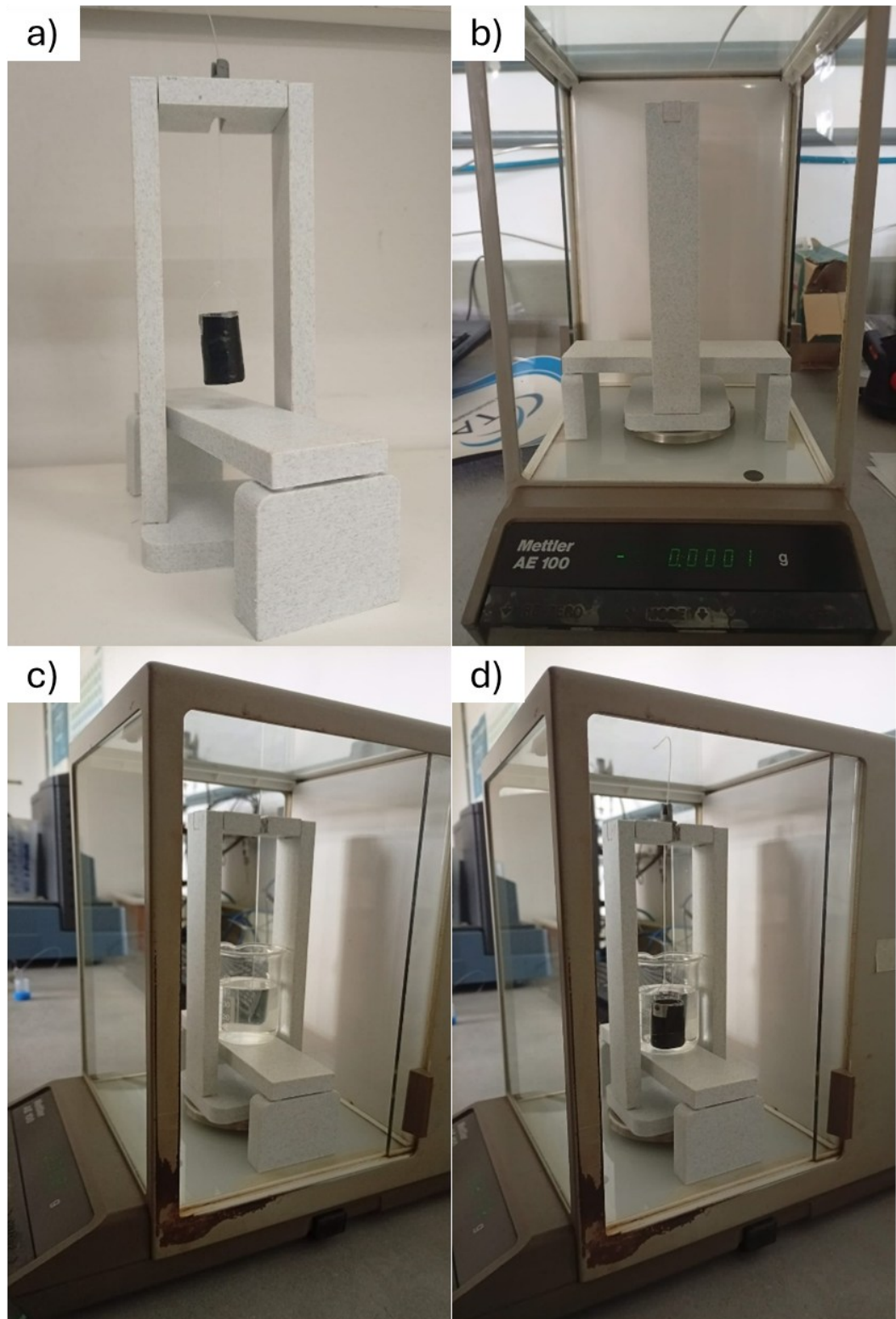


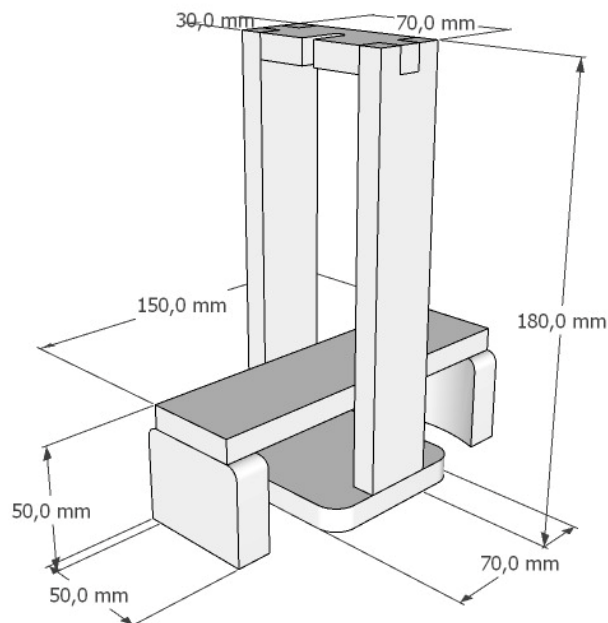
Figura 1. Aparato impresso em 3D (a) e passo a passo do posicionamento do mesmo na balança analítica (b), (c) e (d).

APÊNDICE B – MODELAGEM, IMPRESSÃO E MONTAGEM DO APARATO

A modelagem 3D do aparato foi realizada utilizando o software “Sketchup”, focando em um modelo possível de ser impresso em uma impressora 3D com baixa precisão e sem a necessidade de conhecimento detalhado sobre impressão 3D e que possa ser utilizado em uma variedade de balanças analíticas, abertas ou fechadas. Como já mencionado anteriormente a Figura 1 apresenta o modelo tridimensional e as medidas adotados ao aparato que é objetivado nesta proposta, desta forma, o modelo se enquadra nas dimensões de 150 x 70 x 180 mm, montado e pronto para utilização.

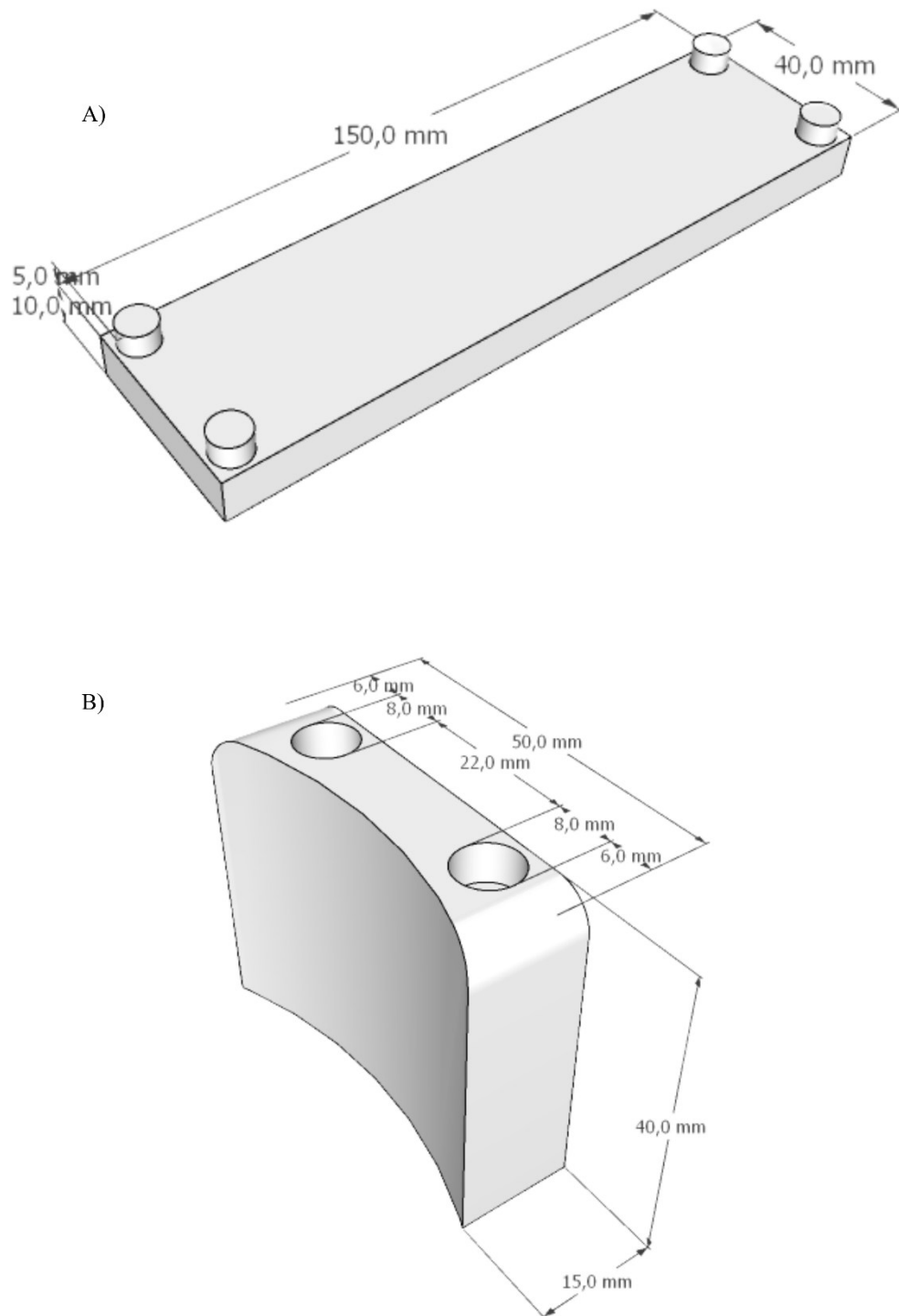
Uma impressão simplificada necessita de uma modelagem simples, ou seja, sem formas geométricas complexas, onde todas as partes impressas toquem a mesa de impressão, evitando assim o uso de suportes para a impressão. A Figura 2 e 3 mostram todas as peças do modelo posicionadas sobre uma mesa de impressão de 230 x 230 mm, ilustrando a ausência de suportes para a impressão e que todas as peças podem ser impressas de uma única vez. A ausência de suporte para a impressão está diretamente ligada a angulação da parede vertical em relação a mesa, sendo 90° graus o ângulo ideal, de modo que cada camada de filamento seja depositada em cima da camada já existente.

Figura 1. Modelo tridimensional



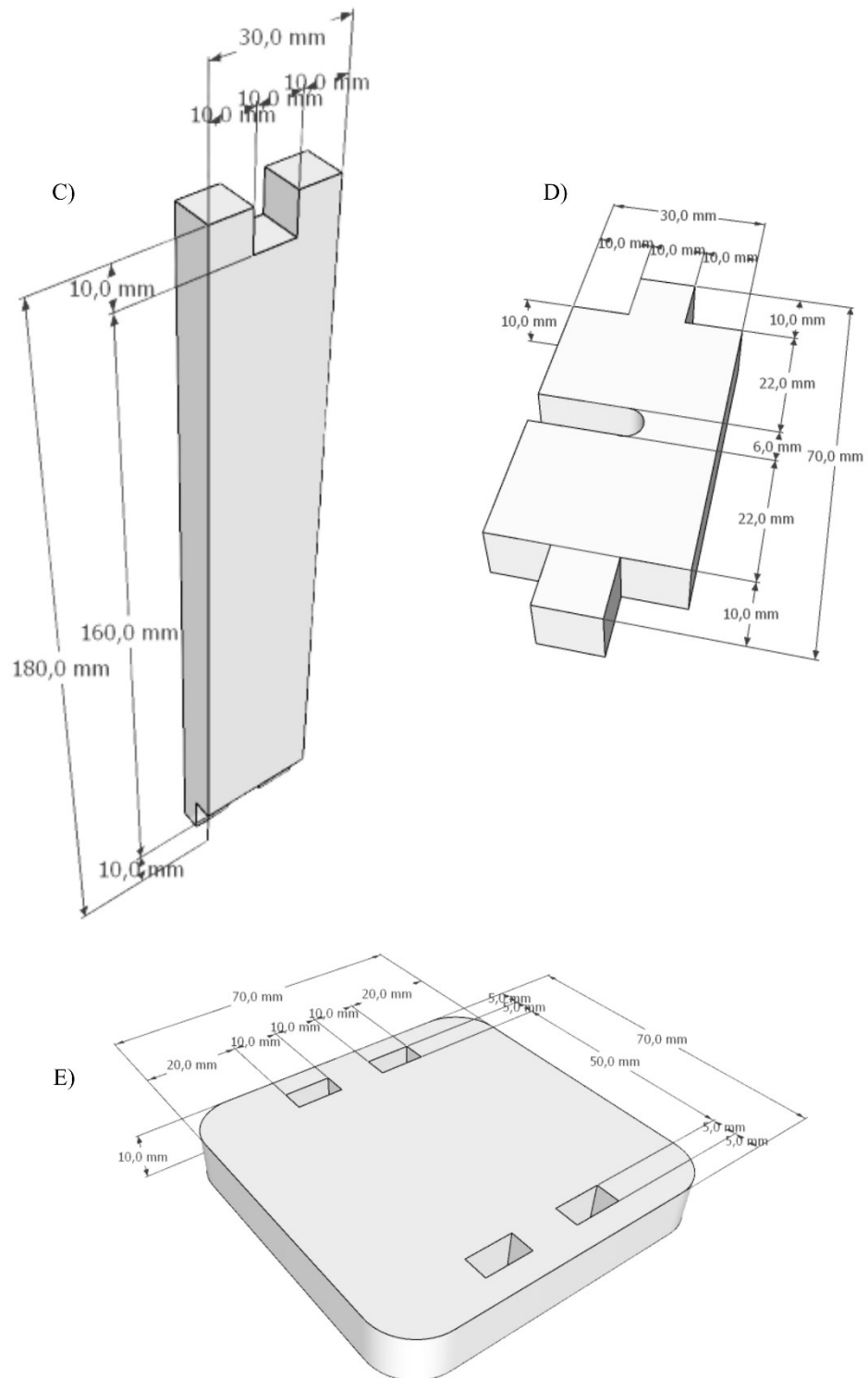
Fonte: próprio autor.

Figura 2. Modelo tridimensional de cada peça do modelo separadamente.



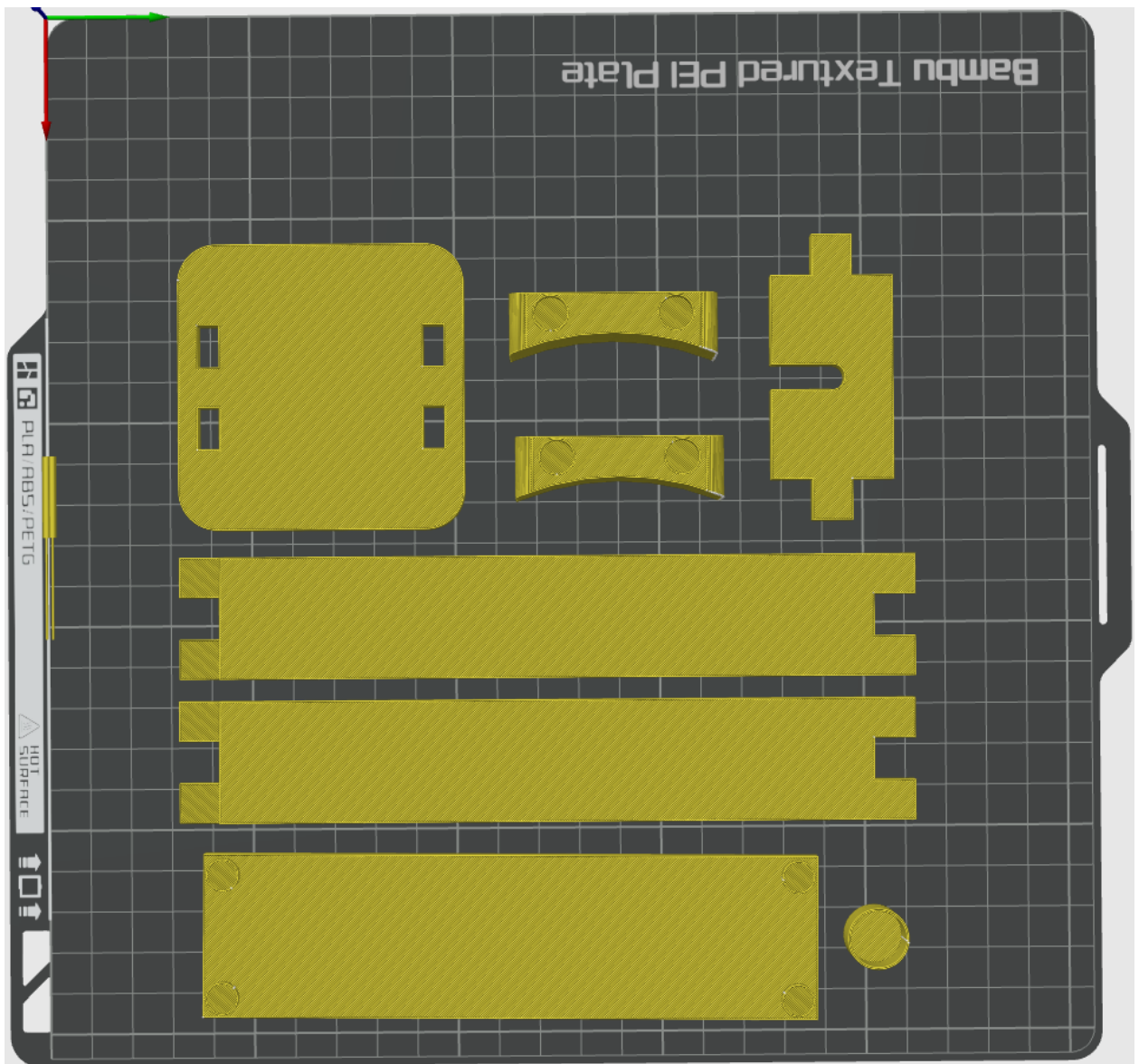
Fonte: próprio autor.

Figura 3. Modelo tridimensional de cada peça do modelo separadamente.



Fonte: próprio autor

Figura 4. Projeto de impressão gerado a partir do *Bambu studio*, representando todas as peças sobre a mesa de impressão.



Fonte: próprio autor

A resistência do modelo também foi avaliada a partir de alguns testes prévios de encaixe das peças, onde foi avaliado que esta forma final de encaixes se mostrou adequada.

As configurações básicas para a impressão do modelo utilizado foi utilizando filamento de PLA 1,75 mm e um bico de impressão de 0,4 mm, utilizando uma impressora 3D BambuLab modelo A1:

- 1,2 mm de espessura de parede;
- 1,2 mm de camada de base e de topo;

- 0,2 mm de cada cama;
- Camada inicial de 20 linhas para evitar o desprendimento da peça;
- Sem suporte;
- 15% de preenchimento da peça;

As condições como temperatura e velocidade de impressão são totalmente dependentes da marca e modelo tanto do filamento quanto da impressora a ser.

Para aqueles que não possuem uma impressora 3D e gostariam de aplicar este modelo, existem empresas especializadas em receber o seu modelo 3D em um arquivo no formato “.stl” e realizar a impressão. Após uma pesquisa prévia em novembro de 2025, foi realizado um orçamento para a impressão de uma unidade do modelo na empresa Impressão 3D fácil (<https://impressao3dfacil.com/>), no valor de 120 reais mais o frete.

APÊNDICE C – QUESTÃO AVALIATIVA

No experimento da densidade foram determinadas a densidades de duas amostras poliméricas utilizando três métodos, sendo eles: Coluna de densidade de sacarose, picnometria e o método de Arquimedes. Referente aos métodos utilizados, responda.

- Após a construção da coluna, duas amostras foram colocadas dentro delas e deixadas cair até sua parada total. A amostra A percorreu 51 cm e a amostra B percorreu 54 cm. Usando o gráfico apresentado, determine a densidade dos sólidos.
- Usando os dados apresentados na Tabela 1 abaixo, referente as amostras A e B, determine a densidade utilizando o método de picnometria.
- Com base nos dados da Tabela 2, determine também a densidade dos sólidos utilizando o método de Arquimedes.
- Com base nos métodos utilizados para determinar a densidade de materiais sólidos, diga se é possível fazer a determinação de amostras com densidade inferior a 1 g mL^{-1} .
- Explique sucintamente os experimentos realizados para determinação da densidade e apresente as principais diferenças entre eles.

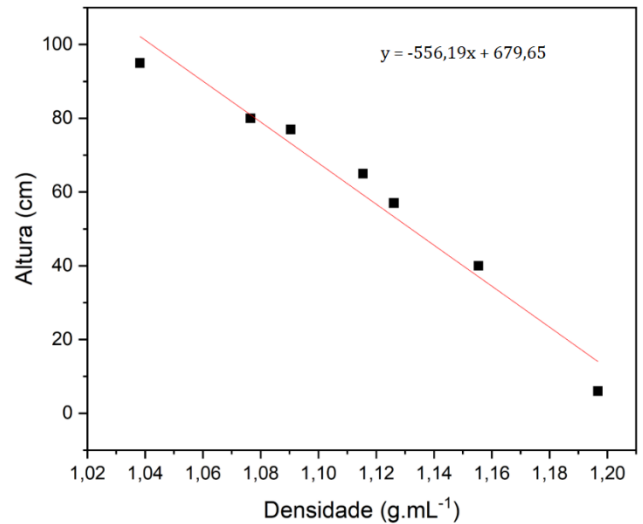


Tabela 1. Dados referentes ao cálculo da densidade por picnometria.

Amostra	Massa do picnômetro vazio (g)	Massa do picnômetro + água (g)	Massa do picnômetro + amostra (g)	Massa da amostra (g)	Massa da água (g)	Volume do picnômetro (mL)	Volume da amostra (mL)
A	41,690	101,342	48,928	7,238	52,414	58,63	6,216
B	31,864	85,856	38,834	6,970	47,022	53,27	6,248

Tabela 2. Massa do sólido, massa aparente do sólido, temperatura e densidade da água para o cálculo de Arquimedes.

Amostra	Massa do sólido (g)	Massa aparente do sólido (g)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Densidade da água (g mL^{-1})
A	41,690	101,342	22,000	0,995
B	31,864	85,856	22,000	0,995

ANEXO A – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SÓLIDOS ATRAVÉS DE UMA COLUNA DE GRADIENTE DE DENSIDADE E PICNOMETRIA

1

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SÓLIDOS ATRAVÉS DE UMA COLUNA DE GRADIENTE DE DENSIDADE E PICNOMETRIA

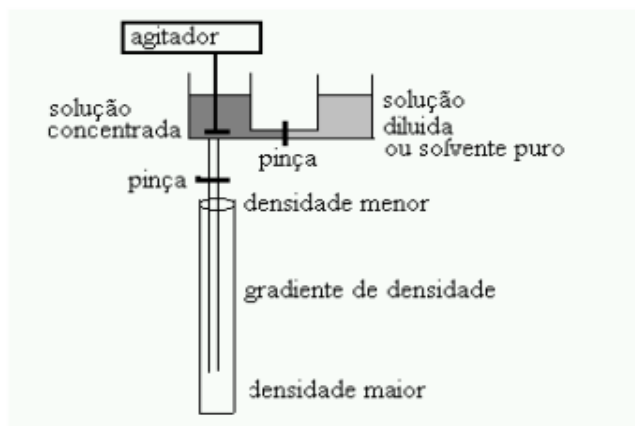
INTRODUÇÃO

Nesta experiência será determinada a densidade de alguns polímeros através de picnometria e sedimentação em gradiente de densidade. Esta última técnica é de especial interesse devido à rapidez da medida e por ser uma poderosa técnica para a separação de componentes de uma mistura de polímeros. O gradiente de densidade é obtido através da mistura contínua de duas soluções de concentrações (e densidades) diferentes, por exemplo, uma solução aquosa de sacarose e água. A densidade, em cada altura da coluna, será determinada através de uma curva de calibração construída a partir de medidas de índice de refração.

PROCEDIMENTO

Coluna de gradiente de densidade de uma solução de sacarose

1. Construir uma escala linear no tubo de vidro que será usado para construir o gradiente de densidade, começando pelo fundo do tubo utilizando papel milimetrado.
2. Determinar o volume da coluna.
3. Preparar uma solução de sacarose, cuja densidade seja da ordem de $1,250 \text{ g mL}^{-1}$. Para determinar a quantidade de sacarose necessária, consulte o Handbook.
4. Montar o sistema conforme a figura ao lado, sendo que no recipiente com agitação deverá ser adicionada a solução de sacarose.
5. Adicione simultaneamente a solução de sacarose no compartimento com agitação e no outro compartimento água. Adicione uma pequena quantidade de corante na solução de sacarose para facilitar a visualização da formação do gradiente de densidade.
6. Utilizando uma bomba peristáltica ou por diferença de gravidade, controle a transferência da solução de sacarose para o interior da coluna de maneira lenta.
7. Interrompa a adição de líquido na coluna e retire uma pequena amostra para determinar o índice de refração. Com auxílio de uma tabela que forneça a densidade em função do índice de refração para solução de sacarose a diferentes concentrações (veja no Handbook), construa uma curva de calibração relacionando altura na coluna com a densidade da solução de sacarose.



8. Coloque pedaço do sólido que se deseja determinar a densidade, espere que atinja a posição de equilíbrio e anote a distância desta posição ao fundo do tubo. Utilizando a curva de calibração da coluna, determine a densidade do sólido.

b) Picnometria

Determine a densidade dos sólidos utilizados acima utilizando picnômetros.

1. Determine a massa de cada picnômetro (m_1).
2. Preencha completamente o picnômetro com água destilada (anotando a temperatura) e pese. Determine o volume de cada picnômetro (V), usando a densidade da água.
3. Esvazie o picnômetro, lave com acetona e seque-o. Coloque uma quantidade de sólido dentro do picnômetro (cerca de 2/3 de sua capacidade) e pese (m_2). Preencha completamente o picnômetro com não solvente do sólido e pese novamente (m_3).
4. Obtenha uma equação que dê a densidade do sólido em função m_1 , m_2 , m_3 , V , ρ . Com os dados obtidos, calcule a densidade do sólido analisado.

c) Balança de Arquimedes

1. Busque na literatura ou endereços eletrônicos confiáveis, o princípio para determinação da densidade de sólidos utilizando o princípio de Arquimedes.
2. Discuta com o professor ou monitor a montagem que poderia ser adaptada no laboratório para determinação experimental da densidade de um determinado corpo de prova.

QUESTIONÁRIO

1. Apresente os dados experimentais obtidos para cada item, de maneira clara.
2. Calcule o valor da densidade para as amostras utilizando os diferentes procedimentos.
3. Se desejarmos determinar a densidade de amostras de polietileno utilizando picnometria, que líquido não poderia ser utilizado para completar o picnômetro na determinação do volume da amostra sólida?
4. Relacione os cuidados que devem ser tomados para minimizar o erro experimental na determinação de densidade utilizando picnômetro.
5. Poderia ser utilizado o mesmo sistema (solução de sacarose) para determinar a densidade de sólidos com valor inferior a 1 g mL^{-1} ? Justifique a resposta.
6. Sendo densidade a relação massa/volume, pode-se a partir desta propriedade determinar a relação entre a porção amorfa e cristalina de uma determinada amostra de material semicristalino? Justifique a resposta.