XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8537

Compreensão espacial hidrossanitária: Um estudo comparativo entre ferramentas visuais

Hydrosanitary spatial understanding: A comparative study between visual tools

Antonio Gabriel Costa Brito
Universidade Federal do Ceará| Fortaleza | Brasil | antoniogabriel@arquitetura.ufc.br
Leônidas Avelino Souza de Castro
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | leoscastro@arquitetura.ufc.br
Francisco José Monte Uchoa Júnior
Universidade Federal do Ceará|Fortaleza |Brasil| francisco.uchoa@arquitetura.ufc.br
Aline Grotti de Soarez
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | alinegrotti@arquitetura.ufc.br
Clarissa Notariano Biotto
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | clarissa.biotto@iaud.ufc.br

Resumo

A compreensão espacial de sistemas prediais é fundamental na formação em Arquitetura. Diante disso, este estudo apresenta um experimento realizado com discentes da disciplina de Instalações e Equipamentos de Edificações I da Universidade Federal do Ceará, que avaliou a eficácia de três métodos de representação (2D impresso, modelo BIM 3D e Realidade Virtual) na montagem de um sistema de esgoto residencial. Para a atividade, 36 equipes, compostas pelos discentes da disciplina de 2024.1 a 2025.2, receberam as tubulações necessárias à montagem do projeto hidrossanitário. Então, ocorreu o registro do tempo de conclusão das equipes e da taxa de autonomia e, posteriormente, a aplicação de um formulário de opinião que buscava comparar a eficácia das formas de representação. Os resultados estatísticos apontam o modelo BIM 3D como o método mais eficaz. A principal contribuição do trabalho consiste em mapear os obstáculos cognitivos de cada interface, fornecendo subsídios empíricos para a adesão de modelos tridimensionais no ensino de engenharia e arquitetura.

Palavras-chave: Sistemas prediais. Realidade virtual. BIM. Compreensão espacial.

Abstract

Spatial understanding of building systems is fundamental in architectural education. In this context, this study presents an experiment conducted with students enrolled in the Building Installations and Equipment I course at the Federal University of Ceará, aimed at evaluating the effectiveness of three representation methods (printed 2D drawings, 3D BIM models, and Virtual Reality) in the assembly of a residential sewage system. For the activity, 36 teams, composed of students attending the course between the first semester of 2024 and the second semester of 2025, were provided with the pipes and fittings required to assemble a sanitary plumbing project. The team's completion times and levels of autonomy were recorded, followed by the administration of an opinion survey designed to compare the effectiveness of the representation methods. Statistical results indicate that the 3D BIM model was the most effective method. The main contribution of this study lies in identifying the cognitive obstacles associated with each interface, providing empirical evidence to support the adoption of three-dimensional models in engineering and architecture education.

Como citar:
BRITO, A.G.C.,CASTRO, L.A.C., UCHOA JÚNIOR, F.J.M., SOAREZ, A.G., BIOTTO, C.B. Compreensão espacial hidrossanitária: Um estudo comparativo entre ferramentas visuais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8537

Keywords: Building systems. Virtual reality. BIM. Spatial understanding.

INTRODUÇÃO

A disciplina de Instalações e Equipamentos de Edificações I aborda os principais sistemas prediais, como água fria, água quente, esgoto, gás e combate a incêndio. No entanto, o ensino dessa temática esbarra em dificuldades de compreensão tridimensional de redes que se interceptam no espaço. Por isso, desenvolveram-se atividades práticas para dinamizar o aprendizado, destacando-se a montagem de tubulações de esgoto, realizada em três métodos distintos de representação de um sistema hidrossanitário: documentação 2D, modelagem BIM e Realidade Virtual (RV). Assente nisso, o presente estudo objetiva avaliar qual dessas abordagens demonstra maior efetividade na consolidação dos conhecimentos e no desenvolvimento da percepção espacial dos sistemas prediais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O *Computer-Aided Design* (CAD) compreende ferramentas digitais para representação geométrica e, embora tenha evoluído do 2D para o 3D, mantém o foco em vetores e formas visuais, com informações semânticas limitadas sobre o comportamento técnico dos elementos [1]. Em contrapartida, o *Building Information Modeling* (BIM) adota uma abordagem integrada na gestão da informação [2], diferenciando-se pela modelagem paramétrica baseada em objetos com atributos computáveis [1]. Assim, o BIM permite análises técnicas e revisões automatizadas de propriedades construtivas e funcionais de forma não redundante [3].

Contudo, as informações de CAD ou BIM são frequentemente convertidas para formatos 2D, como desenhos, para apresentação na produção. Estudos apontam que essa prática prejudica indivíduos com menor habilidade de tradução espacial, exigindo tempos de fixação ocular mais longos e dificultando a codificação do conteúdo [4]. Nesse cenário, a Realidade Virtual (RV), simulação computacional interativa que proporciona sensação de presença, surge como facilitador da percepção de profundidade e proporção que supera os limites das representações tradicionais [5].

No contexto educacional, a RV é destacada como ferramenta construtivista [6], tornando o estudante um participante ativo na construção do conhecimento. Ao proporcionar visualização em escala 1:1, facilita-se a identificação de arranjos espaciais, competência crítica para o design [7, 8]. No canteiro, a integração da RV ao BIM 4D potencializa a detecção de erros em 27% frente ao 2D [7]. Essa capacidade, aliada ao *Visual Management*, mitiga conflitos antes da execução física [9]. Ademais, experimentos indicam que a RV pode reduzir o tempo de execução em 35% [7] e elevar a precisão no sequenciamento modular para 96% [10]. Assim, a RV consolida-se como motor de otimização técnica relevante para a construção civil.

Diante de tal paradigma, o objetivo central desta pesquisa consiste em avaliar e comparar a efetividade desses três métodos de representação como instrumentos

facilitadores do aprendizado e consolidação de competências técnico-espaciais aplicadas à arquitetura.

METODOLOGIA DE PESQUISA

Este estudo adota o delineamento da pesquisa experimental controlada em ambiente pedagógico, sob abordagem quali-quantitativa, combinando métricas cronométricas com a avaliação de percepções colhidas em questionários pós-teste. O fluxo metodológico foi dividido em quatro etapas subsequentes, evidenciadas na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma de Etapas do experimento



Fonte: os autores.

ETAPA 1: PREPARAÇÃO DO EXPERIMENTO

Primeiramente, os monitores da disciplina elaboraram um projeto modelo de esgoto sanitário residencial no software Autodesk Revit, viabilizando a atividade prática de montagem das tubulações. A partir do modelo, foram extraídos os quantitativos e, com o apoio da Amanco Wavin (fornecedora de tubos e conexões), obtiveram-se os materiais para a execução do sistema em escala real (1:1), montado conforme o projeto padrão (Figura 2).

Figura 2: Tubulações totalmente montadas utilizadas para realização do experimento

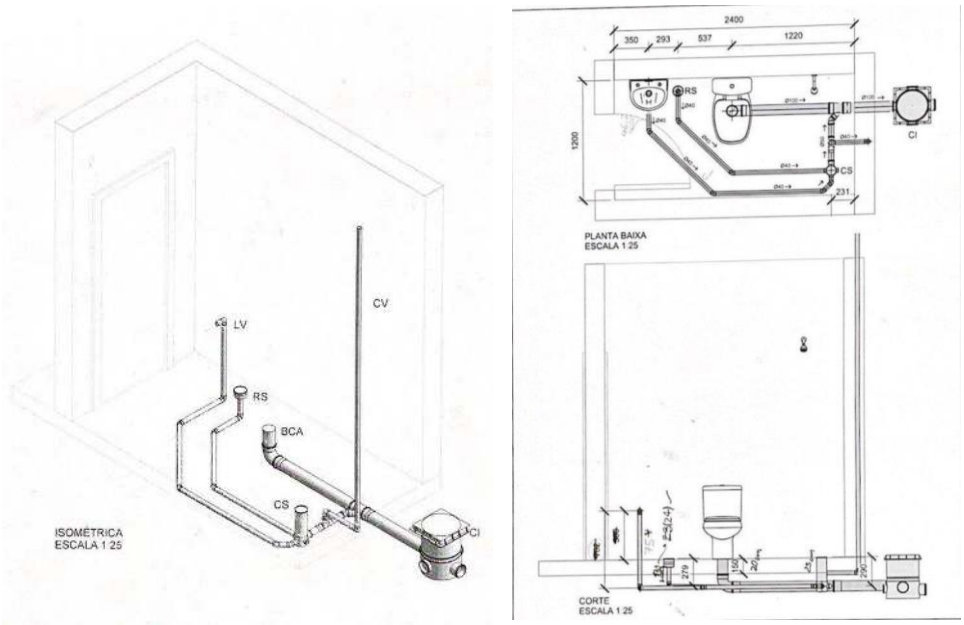


Fonte: os autores.

Paralelamente, foram preparadas as diferentes bases dos métodos de representação que seriam disponibilizadas aos alunos, bem como um protocolo de instruções para orientação da atividade. Os materiais e recursos utilizados estão descritos a seguir.

Método de Representação Bidimensional (2D): Este método representa a prática convencional da arquitetura e construção civil. Foram disponibilizados para as equipes documentos técnicos impressos em papel, contendo plantas baixas, elevações e perspectivas isométricas do sistema hidrossanitário (Figura 3). Como auxílio, as equipes também receberam instrumentos de medição analógicos: fita métrica para aferição das peças físicas e escalímetro para conversão das dimensões contidas nas pranchas.

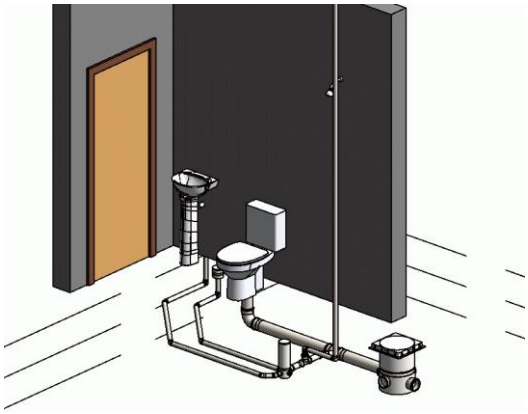
Figura 3: Documentos impressos entregues aos discentes que utilizaram o método 2D



Fonte: os autores.

Método de Representação Tridimensional (3D/BIM): Neste método de apoio, os documentos físicos foram substituídos por modelos virtuais em *Building Information Modeling* (BIM). Os discentes acessaram o modelo digital (Figura 4) tridimensional em um laptop, operando comandos de órbita, rotação, zoom e ferramentas de medição digital em tempo real diretamente nas plataformas Revit ou ArchiCAD, conforme a familiaridade da equipe.

Figura 4: Modelo BIM 3D disponibilizado aos discentes



Fonte: os autores.

Realidade Virtual (RV): Esse método consiste na utilização de *Head-Mounted Displays* (HMD), especificamente o modelo *Oculus Meta Quest 2*. Por meio da imersão total em um ambiente digital em escala 1:1 no software Arkio, os discentes foram capazes de explorar os sistemas sanitários de forma espacial (Figura 5). A tecnologia permitiu aferir medições virtuais de modo intuitivo, transpondo as informações para a montagem física das tubulações.

Figura 5: Discente utilizando o Oculus para imersão em Realidade Virtual



Fonte: os autores.

Protocolo de instruções: Foi elaborado um protocolo para orientar alunos e monitores, garantindo a padronização na aplicação da atividade (Figura 6). Esse documento foi estruturado em quatro partes: Instruções do projeto e formas de representação; apresentação dos materiais; orientações para a montagem com sequência lógica e controle de tempo; e procedimentos finais de registro e avaliação da atividade.

Figura 6: Protocolo de Orientação Geral

LED

LABORATÓRIO EXPERIMENTAL DE INSTALAÇÕES SANITÁRIAS

Roteiro da Atividade

A atividade proposta consiste na montagem de um sistema sanitário um banheiro utilizando as tubulações e conexões disponíveis. O grupo deverá interpretar o projeto por meio de três formas de apresentação:

- **Leitura de projeto 2D** impresso com auxílio de escalímetro: Nas pranchas, os alunos poderão identificar os tamanhos, diâmetros e inclinações dos tubos.
- **Visualização do modelo virtual em BIM** (Building Information Model) no laptop. No software os alunos poderão identificar os tamanhos, diâmetros e inclinações dos tubos.
- **Visualização do projeto em BIM com realidade virtual.** No aplicativo os alunos poderão identificar os tamanhos, diâmetros e inclinações dos tubos.

1. **Instruções do Projeto**
   - Espaço da Montagem: O banheiro tem dimensões de 1,20m x 2,30m.
   - Componentes do Banheiro: O banheiro é composto por um lavatório, uma bacia sanitária, um ralo seco, um ralo sifonado e uma caixa de inspeção. Todos esses pontos estão devidamente marcados no piso.
2. **Apresentação das Peças**
   - Mostrar as peças com suas respectivas dimensões.
   - Mostrar que existem calços(pedras) para aplicar a inclinação do sistema
   - Informar que:
     a) Todos os canos devem ser utilizados;
     b) Os ralos são desmontáveis; e
     c) As conexões que possuem luvas já estão conectadas.
     d) As peças possuem imperfeições de cortes mas que não atrapalham o processo de montagem.
3. **Instruções de Montagem**
   - Não é necessário conectar as peças com muita força, pois o sistema será desmontado posteriormente.
   - Sequência recomendada de montagem:
     a) Montar primeiro as tubulações horizontais.
     b) Depois, montar as tubulações verticais.
   - A coluna de ventilação (maior tubo vertical) deve ser a última a ser colocada.
   - O tempo de execução será cronometrado. Se em 30 minutos o grupo não tiver concluído, poderá solicitar ajuda do monitor.
   - As pedras são apenas para que os alunos indiquem um inclinação lógica o sistema.
4. **Instruções Finais**
   - Tire uma foto da equipe antes do início da montagem.
   - Inicie o cronômetro.
   - Ao concluir a montagem:
     - Parar o cronômetro.
     - Tire foto da equipe após a conclusão da montagem
     - Solicitar resposta do formulário de avaliação.

Fonte: os autores.

ETAPA 2: APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO

A coleta de dados ocorreu continuamente ao longo de quatro semestres, de 2024.1 a 2025.2. A população-alvo foi composta por estudantes de Arquitetura e Urbanismo regularmente matriculados na disciplina de Instalações e Equipamentos de Edificações I (IEE1) da Universidade Federal do Ceará. Para minimizar interferências, as atividades ocorreram em ambientes isolados e controlados pelos monitores da disciplina, com cada equipe dispondo do tempo de 30 minutos para finalizar a tarefa.

Os participantes, alunos da disciplina, foram então segmentados em trios, totalizando uma amostra final de 36 equipes, seguindo a divisão evidenciada no Quadro 1. Visando a validação do estudo, empregou-se randomização simples no início de cada sessão para determinar a mídia de suporte da equipe.

Quadro 1: Distribuição de equipes por modalidade

Tipo de Mídia	Nº de Equipes	Nº de Alunos
CAD 2D	12	36
BIM 3D	15	45
RV	9	27
TOTAL	36	108

Fonte: os autores.

A princípio, objetivava-se distribuir as equipes igualmente entre as três modalidades (12 equipes em cada), contudo, nos dias de aplicação na modalidade VR, verificou-se instabilidade de *hardware* por limitação das baterias e oscilações no Wi-Fi, gerando atrasos e a necessidade eventual de reiniciar todo o sistema do Oculus e até a impossibilitar o seu uso. Esses fatores geraram um desafio operacional que diminuiu as amostras válidas na categoria de Realidade Virtual em detrimento das outras mídias de apoio, já que em dias de mau funcionamento do Oculus, as equipes escolhidas receberam uma das outras mídias de representação, desktop (BIM 3D) ou papel (2D), gerando uma amostragem final heterogênea.

Também é importante mencionar que no ciclo final de coleta de dados, 2025.2, houve uma distinção na composição dos grupos participantes: 10 equipes foram compostas exclusivamente por discentes regularmente matriculados na disciplina de IEE1, enquanto as outras 7 apresentaram uma composição heterogênea de discentes em diferentes etapas de progressão do curso de Arquitetura e Urbanismo, tanto em etapas prévias quanto posteriores à disciplina de IEE1.

As sessões experimentais ocorreram no turno vespertino (14:00 às 18:00), de maneira paralela às aulas regulares. O fluxo logístico consistiu no isolamento físico e espacial: os monitores retiravam os trios selecionados da sala de aula e os conduziam até o local designado para a execução da tarefa. A retirada de sala de aula garantiu que o ambiente permanecesse isolado até o momento do início da atividade, evitando assim que tanto o grupo que realizaria o experimento quanto os grupos subsequentes tivessem contato com informações sobre a montagem e comprometessem os dados finais.

No ambiente do experimento, os discentes receberam o protocolo de instruções para nivelamento do conhecimento. Estabeleceu-se um tempo limite regulamentar de 30 minutos para a execução física autônoma da montagem, ao término desse período, os

monitores intervinham obrigatoriamente para auxiliar a conclusão, garantindo a integridade física das peças e o cumprimento do cronograma da atividade.

Em relação aos parâmetros espaciais, os grupos foram informados sobre a delimitação da área de montagem, uma poligonal de 1,20m x 2,50m. Nessa área, a localização dos componentes do sistema estava previamente sinalizada no piso, simulando o layout de um banheiro residencial comum composto por: lavatório, bacia sanitária, ralo seco, ralo sifonado e caixa de inspeção. Para garantir a funcionalidade hidráulica, pedras foram utilizadas no calçamento abaixo de tubulações para gerar a inclinação necessária nesses encanamentos. Tal requisito foi fundamental para verificar a compreensão dos discentes acerca do escoamento auxiliado pela gravidade, princípio básico em sistemas de esgotamento sanitário.

No âmbito da montagem, orientações diretas foram fornecidas para otimizar o processo de trabalho e mitigar erros de interpretação do material didático. Esclareceu-se que a todas as peças disponibilizadas deveriam ser integradas ao sistema, que os ralos eram desmontáveis para facilitar o encaixe em seus componentes adjacentes e que as conexões providas de luvas já estavam pré-ajustadas. Recomendava-se, também, priorizar a montagem das tubulações horizontais em detrimento das verticais, o que se justificava pela instabilidade do tubo de queda que requer uma base horizontal firme para conseguir sustentação. Depois, ao final das instruções, os participantes foram notificados de que o processo seria registrado via fotografia para usos acadêmicos (Figura 7).

Figura 7: Discentes realizando o experimento de Montagem de Tubulações



Fonte: os autores.

No experimento, variáveis físicas e instrumentais geraram obstáculos à montagem e à coleta de dados. A primeira limitação envolveu imperfeições métricas nos componentes de PVC por corte manual, resultando em sutis subdimensionamentos frente ao projeto. Embora não tenham inviabilizado a montagem, essas discrepâncias foram notadas por equipes de maior rigor técnico. Isso exigiu a reavaliação das estratégias de encaixe, elevando o tempo de execução e afetando o desempenho cronometrado desses grupos.

Ademais, enquanto as modalidades 2D e BIM 3D demonstraram integração imediata devido à destreza prévia dos alunos com ferramentas tradicionais e softwares de modelagem, a Realidade Virtual (RV) demandou treinamento específico e intensivo. Essa capacitação focava na operação do *headset* Meta Quest 2 e na aferição de medidas imersivas por um integrante do trio. Contudo, disparidades nas habilidades dos discentes alongaram excessivamente os períodos de treinamento, atingindo, em casos extremos, a marca de 30 minutos.

ETAPA 3: COLETA DE DADOS DOS QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Após a atividade, as equipes preencheram um formulário sobre a experiência e formalizaram o consentimento para o uso da imagem registrada e dos dados gerados para fins didáticos e científicos, consolidando o regulamento ético da pesquisa acadêmica. As perguntas contidas no formulário abordavam a opinião dos discentes acerca do experimento, apontamento das maiores dificuldades e fatores de maior importância para a montagem das tubulações, como mostra o Quadro 2:

Quadro 2: Perguntas presentes no questionário

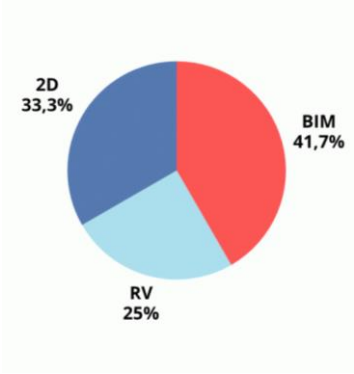
Qual formato de visualização do projeto o grupo utilizou?	Numa escala de 1 a 5, qual o grau de compreensão do projeto de esgoto sanitário do banheiro apresentado no experimento?	A equipe possuía conhecimento prévio sobre projetos de esgoto sanitário residencial antes de realizar o experimento?
Numa escala de 1 a 5, quanto você considera importante o aspecto da compreensão do conteúdo estudado em sala de aula para a realização da atividade?	Numa escala de 1 a 5, quanto você considera importante o aspecto da comunicação interpessoal para a realização da atividade?	Numa escala de 1 a 5, em relação à relevância da ferramenta de visualização utilizada, quanto você avalia o impacto causado na sua capacidade de executar a atividade?
Quantos minutos o grupo levou para montar o sistema de esgoto sanitário de acordo com o projeto disponibilizado no experimento? (Indique apenas o valor numérico).	Sua equipe teve ajuda do monitor após 30 min?	Qual/quais a(s) maior(es) dificuldade(s) enfrentada(s) pela equipe para realizar a atividade?
A equipe gostou de participar do experimento	A equipe autoriza o uso de imagens do experimento para fins de publicação acadêmica?	Deixe sua opinião sobre o exercício.

Fonte: os autores.

ETAPA 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o experimento, realizou-se a análise quantitativa da distribuição das equipes por modalidade. A Figura 8 apresenta um gráfico que evidencia a distribuição das 36 equipes entre as modalidades de representação. Nota-se uma predominância do método de representação BIM (42%), em seguida o método convencional 2D (33%) e, por último, pela Realidade Virtual (25%).

Figura 8: Gráfico de Distribuição de Equipes em cada Modalidade de Representação

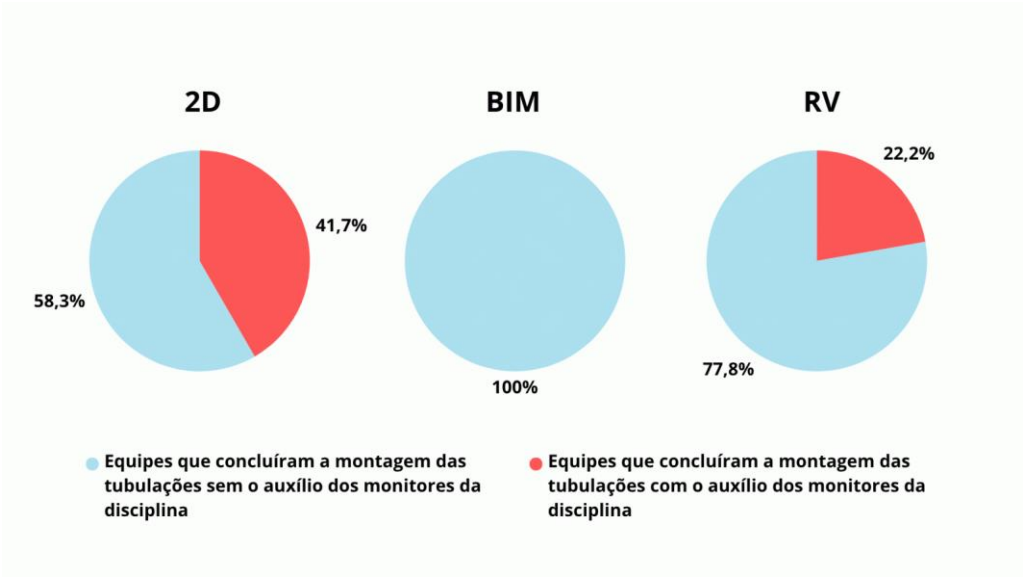


Fonte: os autores.

A menor quantidade de equipes em RV correlaciona-se aos desafios técnicos e operacionais descritos na metodologia. A demanda de treinamentos, a instabilidade do Headset e da conectividade reduziram o número de amostras incluídas nessa categoria. Sendo assim, o gráfico informa que apesar do potencial inovador da Realidade Virtual, sua viabilidade ainda é dependente de fatores infraestruturais.

Como mencionado anteriormente, era fundamental que todas as equipes concluíssem a montagem do experimento, de modo que as que não o fizessem dentro do tempo limite de 30 minutos receberiam auxílio dos monitores. A autonomia das equipes na execução do experimento proporcionada por cada interface de projeto está evidenciada na Figura 9.

Figura 9: Gráfico de Conclusão Autônoma por Modalidade de Representação



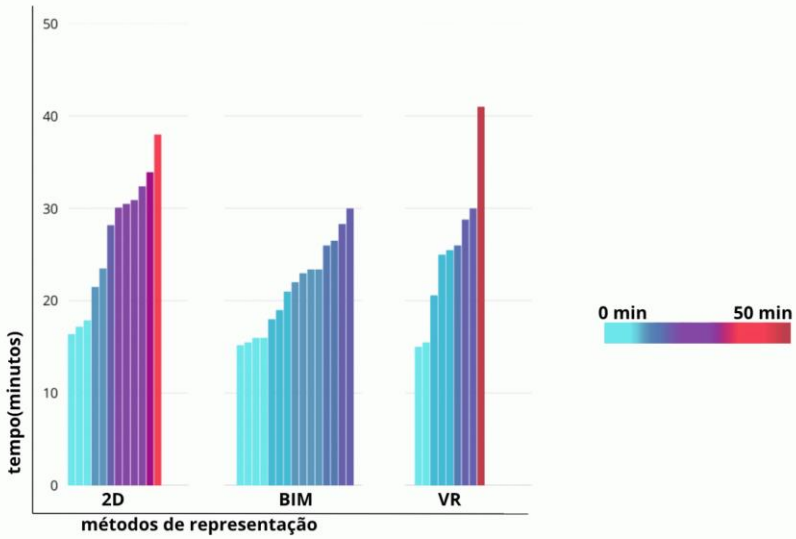
Fonte: os autores.

Os índices de conclusão autônoma variam entre as mídias, evidenciando o impacto da interface na curva de aprendizado. O método BIM 3D apresentou eficiência máxima (100% de autonomia), indicando que a visualização tridimensional elimina ambiguidades interpretativas e confere fluidez ao entendimento lógico do projeto.

Por outro lado, o método 2D obteve o menor desempenho (58% de autonomia), confirmando que a documentação bidimensional exige elevado esforço de abstração e translação espacial, o que induz a erros e atrasos. A Realidade Virtual alcançou taxa intermediária (78%), demonstrando potencial inovador ao tornar o conteúdo intuitivo em escala 1:1, reduzindo a dependência de repertório teórico. Contudo, a taxa de 22,2% de equipes que demandaram auxílio externo em RV indica que a tecnologia carece de robustez para aplicação didática em larga escala devido a barreiras de infraestrutura (baixa autonomia de baterias e instabilidade de rede) e à acentuada curva de aprendizado do hardware. Adicionalmente, o isolamento sensorial do *headset* prejudicou a comunicação e a coordenação coletiva dos trios.

Por fim, a Figura 10 apresenta os tempos de execução das 36 equipes categorizadas por modalidade, cuja análise cronométrica denota uma relação direta entre o meio de representação empregado e a agilidade na montagem.

Figura 10: Gráfico de Análise Cronométrica por Modalidade de representação



Fonte: os autores.

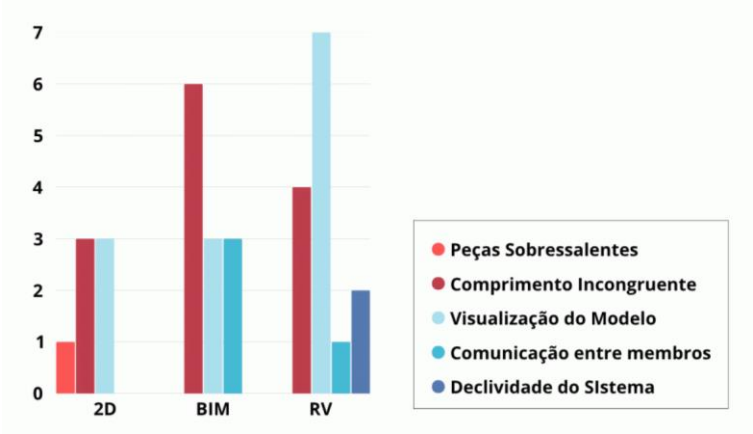
O grupo BIM 3D demonstrou maior consistência de desempenho, com a maioria das equipes concluindo a atividade entre 15 e 25 minutos. Esse padrão indica que a interface tridimensional facilita a compreensão espacial e padroniza o tempo executivo, reduzindo erros interpretativos. Esse resultado é impulsionado pelo contato frequente que os discentes de Arquitetura e Urbanismo da UFC mantêm com ferramentas BIM desde o início da graduação.

Em contrapartida, as modalidades 2D e RV exibiram maior dispersão cronométrica, incluindo casos que excederam o limite de 30 minutos. No método 2D, os picos temporais refletem a dificuldade de transpor informações de plantas, cortes e isométricos para a prática física, agravada pelo declínio no manejo de escalímetros e ferramentas analógicas decorrente da digitalização do currículo. Essa falta de prática manual tátil repercutiu diretamente nos atrasos de montagem.

Na Realidade Virtual (RV), a amplitude temporal foi marcada por extremos: enquanto algumas equipes obtiveram alta eficiência, as que ultrapassaram os 30 minutos evidenciaram as limitações de infraestrutura e usabilidade descritas na metodologia. Isso indica que mídias imersivas demandam planejamento integrado, sob o risco de elevarem o tempo de execução.

A seguir, a Figura 11 detalha os obstáculos técnicos e logísticos enfrentados pelas equipes, categorizados em visualização, comprimento, declividade e comunicação.

Figura 11: Gráfico de Apontamento de Dificuldades por Modalidade de representação



Fonte: os autores.

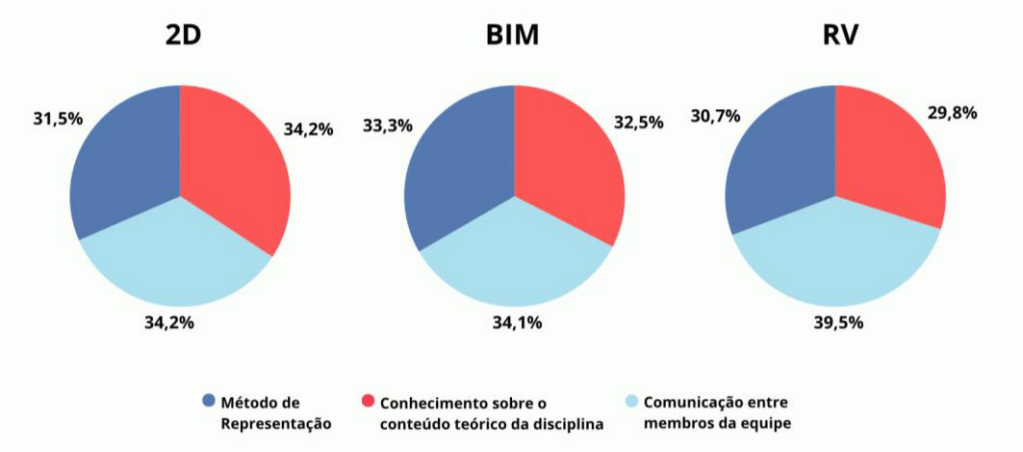
A análise mostra que a representação visual, além de alterar a percepção da dificuldade, muda os erros e obstáculos encontrados durante a montagem. O método 2D apresentou uma distribuição equilibrada e menos frequente de entraves apontados, com destaque para a visualização do modelo e a aferição das dimensões das peças, com três ocorrências cada. Isso indica que, embora essa forma de representação seja mais propensa a erros, ela impõe um ritmo de montagem mais lento e analítico.

Em contrapartida, as modalidades digitais concentraram maiores dificuldades. No BIM, a incongruência de medidas registrou 6 ocorrências, o maior índice do experimento. Esse cenário sugere que a fluidez proporcionada pelo modelo digital pode levar a medições rápidas e imprecisas, provocando equívocos nos participantes.

Por fim, a Realidade Virtual apresentou a maior recorrência de reclamações decorrentes da visualização do modelo, com 7 no total. Esse resultado aponta que a tecnologia imersiva, embora intuitiva, traz obstáculos de interface que dificultam a extração de informações precisas. Ademais, essa modalidade foi a única na qual a comunicação entre os membros foi reportada como uma dificuldade (2 ocorrências), estabelecendo que o isolamento sensorial causado pelo *headset* compromete a coordenação coletiva da equipe. Esse cenário sugere que o benefício da agilidade e fluidez prometido pelas novas ferramentas pode se tornar um obstáculo se utilizado sem planejamento e cautela.

A Figura 12 evidencia o grau de importância de três pilares que norteiam a montagem das tubulações: comunicação entre os membros da equipe, método de apoio designado e bagagem teórica. O peso atribuído a cada pilar foi dividido por método de representação.

Figura 12: Gráfico de Importância dos Pilares apontados pelas Equipes por Modalidade de representação



Fonte: os autores.

No 2D e no BIM, os pilares tiveram relevância similar, denotando que o exercício estimula diferentes competências, exigindo tanto o repertório acadêmico prévio quanto à constante validação verbal entre os participantes. Nessas modalidades, a importância do método de representação está equiparada aos outros dois pilares, ou seja, a fluência na manipulação tanto de documentos 2D quanto dos modelos tridimensionais, se revela fundamental para concluir a atividade.

O cenário mais heterogêneo é visível na Realidade Virtual, na qual a comunicação atingiu o maior nível de importância entre as três modalidades. Esse dado sugere que a imersão virtual e seu consequente isolamento imersivo intensifica a necessidade de comunicação entre os membros da equipe. Do outro lado, temos a bagagem teórica atingindo o menor índice de importância (30%) nesta modalidade, o que é um indicativo de que a escala 1:1 promovida pela RV torna o conteúdo mais intuitivo e compreensivo.

Em suma, a análise comparativa revela um contraste acentuado entre os suportes de informação: O BIM 3D registrou 100% de eficiência e autonomia, confirmando que a manipulação direta da geometria paramétrica digital elimina ambiguidades interpretativas e reduz drasticamente o tempo necessário para a tomada de decisão lógica das conexões. Em contraposição, a modalidade CAD 2D exibiu a menor performance, com apenas 58% de conclusão autônoma. Essa taxa confirma que a dependência de plantas e cortes estáticos atua como gargalo cognitivo na formação dos estudantes, cuja destreza analógica para manusear escalímetros e realizar operações mentais de translação bidimensional para o espaço físico encontra-se em declínio. Já a Realidade Virtual alcançou uma taxa intermediária de 78% de autonomia, evidenciando que, embora seja espacialmente intuitiva, sua introdução em atividades práticas coletivas é sensível a ruídos operacionais de interface.

CONCLUSÃO

Este estudo avalia, sob condições experimentais controladas, o impacto gerado por três mídias de representação técnica no desenvolvimento do entendimento espacial de sistemas hidrossanitários prediais. Os dados empíricos obtidos confirmam a existência de um declínio nas competências analógicas dos discentes para decodificar documentações bidimensionais tradicionais (CAD 2D), consolidando esse formato clássico como um gargalo cognitivo que eleva a taxa de erros e restringe a autonomia.

A principal contribuição científica desta pesquisa reside em evidenciar que a eficiência pedagógica e executiva de mídias imersivas de vanguarda, como a Realidade Virtual, não depende isoladamente de sua capacidade de renderização tridimensional, mas é severamente condicionada por restrições de infraestrutura de hardware e pelo formato de comunicação colaborativa imposto pela interface. O isolamento sensorial do operador em atividades práticas de equipe atua como um catalisador de fadiga cognitiva, demandando protocolos rígidos de coordenação.

Como implicação pedagógica para o ensino, recomenda-se a consolidação do modelo paramétrico tridimensional (BIM) em desktop como suporte básico de visualização em laboratórios práticos, dada a sua estabilidade e eliminação de ambiguidades interpretativas. Para pesquisas futuras, sugere-se testar protocolos baseados em Realidade Virtual Cooperativa, permitindo que a equipe compartilhe simultaneamente o mesmo espaço imersivo digital, eliminando o isolamento perceptivo identificado nesta investigação. Outra sugestão é a avaliação de modelos híbridos, além de sua aplicação em sistemas prediais em larga escala. Por fim, o trabalho reforça a necessidade das instituições investirem em infraestrutura e métodos didáticos que preparem os estudantes para um mercado cada vez mais digitalizado.

AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisa agradece à Universidade Federal do Ceará (Pró-reitoria de Graduação) pela concessão de bolsas de pesquisa para a realização deste estudo.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a preparação deste artigo, o segundo autor utilizou o modelo Gemini (1.5 Flash) para revisão gramatical, correção ortográfica e atendimento às modificações do comitê editorial. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SACKS, Rafael et al. **BIM handbook:** a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 3. ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2018.

[2] NGUYEN, Tran Duong; ADHIKARI, Sanjeev. The Role of BIM in Integrating Digital Twin in Building Construction: A Literature Review. **Sustainability**, v. 15, n. 13, p. 10462, 3 jul. 2023.

[3] STUMM, Sven et al. Towards Life Cycle Complete BIM. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 34., 2017, Taipei. **Anais...** Taipei, Taiwan: IAARC, 2017. Disponível em: http://www.iaarc.org/publications/2017_proceedings_of_the_34rd_isarc/towards_life_cycle_complete_bim.html. Acesso em: 21 jul. 2024.

[4] ALRUWAYTHI, Omar; GOODRUM, Paul. A Difference in Perspective: Impact of Different Formats of Engineering Information and Spatial Cognition on Craft-Worker Eye-Gaze Patterns. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 11, p. 04019065, 1 nov. 2019.

[5] KHARVARI, Farzam; KAISER, Lorenz Ewald. Impact of extended reality on architectural education and the design process. **Automation in Construction**, v. 141, p. 104393, set. 2022.

[6] CAPECCHI, Irene et al. The Combination of Serious Gaming and Immersive Virtual Reality through the Constructivist Approach: An Application to Teaching Architecture. **Education Sciences**, v. 12, n. 8, p. 536, 9 ago. 2022.

[7] ABOUELKHIER, Narmin et al. Enhancing Construction Management Education through 4D BIM and VR: Insights and Recommendations. **Buildings**, v. 14, n. 10, p. 3116, 28 set. 2024.

[8] CASTRONOVO, Fadi et al. Design and Development of a Virtual Reality Educational Game for Architectural and Construction Reviews. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2019, Tampa. **Anais...** Tampa, Florida: ASEE Conferences, jun. 2019. Disponível em: http://peer.asee.org/32592. Acesso em: 31 maio 2025.

[9] BIDHENDI, Ali et al. Enhancing Lean Construction Through Innovative Technology: A Focus on Virtual Reality in Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 32., 2024, Auckland. **Anais...** Auckland, New Zealand: IGLC, 2024. p. 743-754. Disponível em: http://iglc.net/Papers/Details/2228. Acesso em: 28 maio 2025.

[10] GHIMIRE, Rajarshi et al. Combined Application of 4D BIM Schedule and an Immersive Virtual Reality on a Modular Project: UNLV Solar Decathlon Case. **International Journal of Industrialized Construction**, v. 2, n. 1, p. 1–14, 22 jan. 2021.