

Utilização de famílias BIM de equipamentos hospitalares para tomada de decisão projetual utilizando realidade virtual

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.6>

**Luciano Siebra¹, Rodinei Tomm²,
Adriana Tonani³, Paula Mota⁴,
Ricardo Mota⁵, Lorena Moreira⁶**

¹ SIPPRO, Fortaleza – CE, 0009-0001-8602-6740

² SIPPRO, Dourados – MS, 0009-0005-7681-9666

³ SIPPRO, Belo Horizonte, MG – CE, 0009-0008-1543-4692

⁴ SIPPRO, Birmingham – UK, 0000-0001-7559-8455

⁵ SIPPRO, Porto – UK, 0000-0001-7559-8455

⁶ Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA 0000-0001-8172-6572

Resumo

No atual cenário de projetos hospitalares, há uma alta demanda de avaliar espacialmente áreas críticas hospitalares, tais como unidades cirúrgicas e unidades intensivas, visando o uso e a operação da edificação. Com a visualização 2D, essa avaliação se torna limitada, causando problemas como a baixa qualidade das distribuições dos Equipamentos Clínicos Hospitalares (ECH) dentro dessas áreas críticas. Este artigo, por meio de uma pesquisa exploratória, visa apresentar uma melhoria na percepção dos usuários através da criação de um processo integrando o modelo *Building Information Modelling* (BIM) de ECH e Realidade Virtual (RV). Durante o desenvolvimento, a troca de informações ocorreu em colaboração com os clientes, médicos e gestores do hospital para garantir a melhor tomada de decisão na escolha da organização espacial de salas de Unidade de Tratamento Intensiva (UTI) e salas cirúrgicas. O resultado mais significativo encontrado foi uma melhor compatibilização dos ECH com outras disciplinas como estrutura, elétrica, hidráulica, gases medicinais e arquitetura de interiores. Além disso, será apresentado como ocorreu a visualização e o entendimento do projeto pelos clientes, médicos e gestores através do uso da RV. Ademais, como conclusão, percebeu-se que o projeto desenvolvido de ECH está qualificado para entrar na fase de construção, pois possui confiabilidade dos projetistas e usuários finais, dados inseridos de forma clara e concisa, e compatibilização entre disciplinas.

1. Introdução

As unidades assistenciais hospitalares possuem excessiva multiplicidade de informações construtivas e de equipamentos resultante dos inúmeros requisitos técnicos necessários ao funcionamento dos serviços prestados dentro das instituições. Essas unidades são caracterizadas pela interação de relações complexas, envolvendo tecnologia avançada, processos profissionais refinados e elementos industriais. Essa complexidade demanda uma abordagem cuidadosa e especializada na composição arquitetônica para garantir a integração eficiente desses diversos elementos [1].

1.1. Modelagem BIM aplicada às estruturas físicas hospitalares

As estruturas físicas hospitalares no Brasil são reguladas pelo Ministério da Saúde, e devem ser projetadas segundo a Resolução da Diretoria Colegiada, RDC 50 [2], da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, em vigor. Nessa normativa em âmbito federal, existe também a citação sobre as demais RDCs, normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e demais leis complementares que devem ser consultadas e cumpridas no desenvolvimento de projetos de unidades de saúde, formando um arcabouço legal que dispõe sobre o planejamento, a programação, a elaboração e a avaliação de projetos de estabelecimentos assistenciais de saúde de grande complexidade.

Na RDC 50, encontram-se descritas as características físicas dos ambientes de acordo com os procedimentos que irão ocorrer dentro deles, e suas áreas possuem estreita relação com as dimensões mínimas preconizadas para que as atividades aconteçam de forma adequada. Além disso, a RDC 50 serve como referência para estabelecer as infraestruturas de abastecimentos diversos dos ambientes necessárias para seu funcionamento [2]. Entretanto, a RDC 50 não apresenta modelamentos espaciais que possam servir de referência de replicabilidade nos projetos, entendendo que os arquitetos devam compreender profundamente os procedimentos que ocorrem nos ambientes, e serem capazes de desenvolver os projetos de acordo com as demandas específicas de cada unidade de saúde, tornando o exercício dessa análise espacial criteriosa e complexa.

Outra característica intrínseca das unidades hospitalares é a necessidade de flexibilização dos ambientes, o que requer um pensamento sistêmico articulado com um profundo conhecimento dos procedimentos que se desenvolvem dentro dos espaços, e que determinam características métricas ambientais, de quantidade e tipologias de equipamentos e do número de usuários envolvidos, que aumentam ainda mais a complexidade de suas análises. Portanto, o ato de projetar esses espaços torna-se ainda mais desafiador quando se entende o alto nível de abstrações espaciais necessário para que se consiga avaliar todos os aspectos pertinentes ao seu perfeito desempenho. Deve-se avaliar os espaços ocupados pelas pessoas e equipamentos, espaços de fluxos internos entre os objetos nos ambientes, espaços necessários aos procedimentos e o cruzamento dessas informações com todas as infraestruturas prediais de abastecimentos necessárias para que as atividades aconteçam [3], bem

como a análise do posicionamento dessas infraestruturas para que não existam colisões físicas entre elas. A utilização da modelagem BIM facilita a avaliação espacial prévia de todos os elementos e fluxos de pessoas que estarão presentes nos ambientes, bem como as interferências entre eles, contribuindo para que os processos de projeto, construção e operação sejam mais assertivos.

1.2. Associação da Engenharia Clínica com BIM e RV

Dentre todas as disciplinas que respondem pela infraestrutura hospitalar, a disciplina de Engenharia Clínica Hospitalar (ECH) é a responsável pela definição de todos os equipamentos que serão operados nos ambientes de saúde. Ela responde ao nível clínico demandado pelos clientes com relação à qualidade diagnóstica, mas também responde sobre sua relação de custo-benefício na avaliação do mercado de aquisições, garantias, comissionamentos, financiamentos, manutenções e operações futuras no funcionamento do ciclo de vida dos equipamentos. Dado ao seu alto custo de implantação, os equipamentos médicos possuem uma grande importância na viabilidade econômica das unidades de saúde, e a sua caracterização adequada e disposição nos ambientes, com a checagem de toda a infraestrutura necessária para sua operação é fundamental para o seu bom desempenho [4].

Além disso, levando-se em conta a criticidade dos procedimentos que acontecem dentro das unidades de saúde, bem como a curva de desembolso de aquisição dos equipamentos médicos, percebe-se que as unidades intensivas e cirúrgicas representam setores de grande relevância [5]. Assim, a análise espacial criteriosa desses ambientes é significativa para que garanta as dimensões adequadas para conter os equipamentos, os mobiliários, os materiais e as pessoas envolvidas, além de proporcionar os espaços necessários às movimentações internas nos ambientes e todas as infraestruturas que farão as alimentações desses equipamentos [6].

Inserido nesse contexto, nota-se que a sinergia entre a tecnologia de Realidade Virtual (RV), que possibilita imergir os usuários em ambientes virtuais interativos, e o *Building Information Modelling* (BIM), que oferece uma representação tridimensional precisa e inteligente de edifícios e seus equipamentos, pode criar oportunidades inovadoras para otimizar o projeto, a construção e a operação em ambientes de saúde [7].

A RV pode ter um impacto decisivo na experiência dos usuários com relação ao ambiente construído em hospitais. Essa tecnologia pode ser utilizada para visualizar as etapas anteriores das construções hospitalares e prever os impactos de novas propostas. Ao simular vários cenários e padrões com diferentes graus de complexidade, a equipe de projetistas, o corpo clínico e os usuários podem explorar novas interações relacionadas às pessoas e aos ambientes físicos [8]. O uso integrado de tecnologias BIM e RV pode melhorar a comunicação e a simulação durante a fase projetual, permitindo que os profissionais envolvidos possam visualizar e interagir com o projeto em um ambiente que pode ter diversos níveis de imersão. Essa integração também pode levar a uma melhor compreensão do projeto, mitigação de erros e retrabalho, além de economia de tempo e recursos.

No entanto, é importante ressaltar que podem ocorrer algumas limitações com a união dessas tecnologias como: (i) *hardware* e *software*, pois o uso de tecnologias de RV pode exigir equipamentos e ferramentas especializadas e a integração de diferentes tecnologias pode ser complexa exigindo conhecimentos técnicos específicos; (ii) aceitação, pois nem todos os profissionais envolvidos podem estar familiarizados com essas tecnologias; e (iii) segurança, pois a segurança dos dados é uma preocupação em ambientes hospitalares e a integração de diferentes tecnologias pode aumentar o risco de violações [7].

Dessa forma, o objetivo desse artigo é apresentar uma melhoria na percepção dos usuários de unidades assistenciais hospitalares, por meio da criação de um processo de desenvolvimento de um modelo BIM de ECH e sua aplicação em RV.

2. Método

Esse artigo fez uso da pesquisa exploratória que, de acordo com [9], “têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses.” Baseado em [9] e [8] que apresentou uma sequência de passos para desenvolver a modelagem de ambientes hospitalares em ambientes virtuais, foi realizado o seguinte delineamento: a etapa (i) de formulação do problema de pesquisa foi elaborada a partir de fontes bibliográficas originadas do campo de pesquisa de unidades assistenciais hospitalares e arquitetura, juntamente com o BIM e a RV. Como já dito na introdução, a justificativa desse estudo é a dificuldade da compreensão do ambiente hospitalar em 2D. A etapa (ii) de definição de métodos e critérios de modelagem BIM listou as atividades do processo de modelagem, que foi sendo validado no decorrer do projeto de uma unidade hospitalar. A etapa (iii) de preparação do processo de modelagem foi para a criação da biblioteca de objetos de ECH, modelagem do espaço dos ambientes e inserção das informações semânticas aos objetos do modelo BIM. A etapa (iv) de coleta de dados na aplicação de RV focou na qualidade, medição e avaliação das percepções a partir das experiências dos usuários na aplicação da RV. E, por fim, a etapa (v) de análise dos resultados contou com a sistematização e a avaliação dos dados coletados. Essa etapa foi resultado do experimento em uma unidade hospitalar em construção em que foram elencadas as salas de cirurgia e as Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs) como ambientes de estudo. A seguir, será detalhado o processo ocorrido na etapa (ii) e na etapa (v).

3. Resultados

3.1. Modelagem BIM aplicada à ECH

O processo para iniciar a modelagem dos projetos de ECH passou por uma análise prévia dos ambientes, objetos e compilação de informações necessárias que deveriam ser inseridas. Essa análise teve o objetivo de planejar a modelagem em termos de prazo estimado, entregas parciais, ferramentas utilizadas e equipe disponível.

A análise prévia foi realizada ainda em ferramenta CAD, a partir do projeto disponibilizado pelo projetista, em 2D, como mostra a Figura 1.

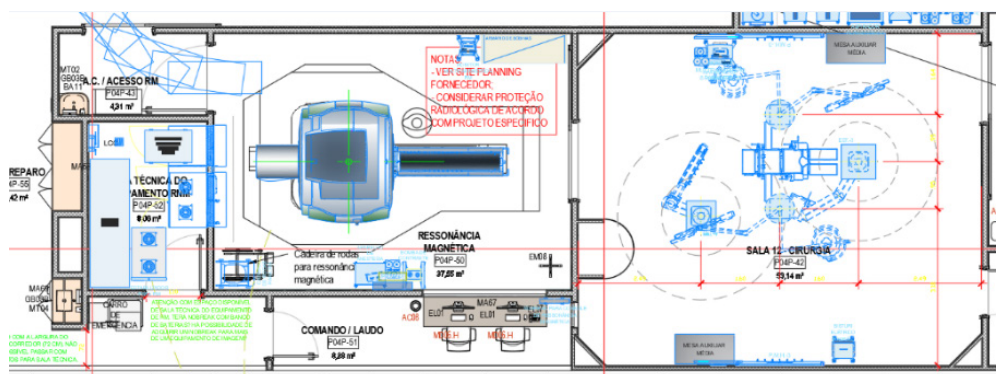


Figura 1
Projeto de ECH em ferramenta CAD.

Após a análise prévia, e a criação do planejamento de modelagem, deu-se início aos modelos dos objetos de ECH. Essa modelagem inicial dos equipamentos foi criada através da geração de geometria espacial de forma simplificada (poliedro) com as suas dimensões e os espaços destinados para o suporte de equipamentos suspensos e as instalações necessárias aos seus funcionamentos. Para facilitar a identificação imediata da família, foi inserido o nome em 3D do equipamento à frente do modelo. A Figura 2 mostra a aparência de forma simplificada dos equipamentos: raio-x portátil, plasmaferese, óxido nítrico e hemodiálise (prismaflex).

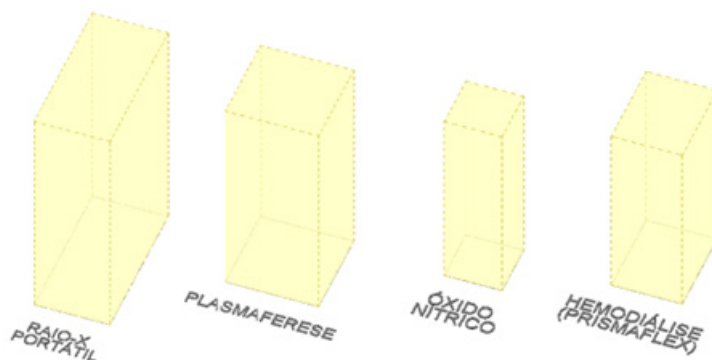


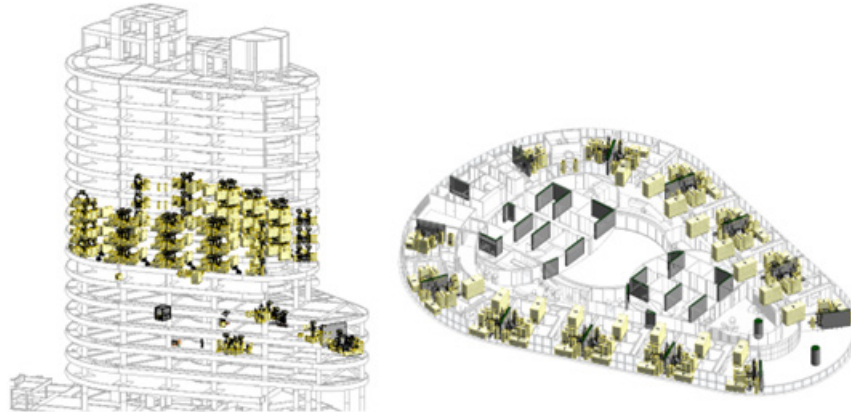
Figura 2
Exemplo do modelo inicial dos objetos dos equipamentos.

Essa etapa serviu para validação dos ambientes destinados aos equipamentos. Por serem modelos simples, sua movimentação e alteração foi fácil, contribuindo na rapidez das tomadas de decisões. Outra vantagem da modelagem inicial dos equipamentos foi a identificação das interferências espaciais (detecção de conflitos) no modelo BIM federado com as disciplinas arquitetura, estrutura, climatização, entre outras (Figura 3).

Para a identificação dessas interferências foi utilizada a ferramenta de revisão e visualização Dalux BIM Viewer. Essa é uma ferramenta gratuita que proporciona a integração da comunicação entre as equipes do projeto, contribuindo para uma

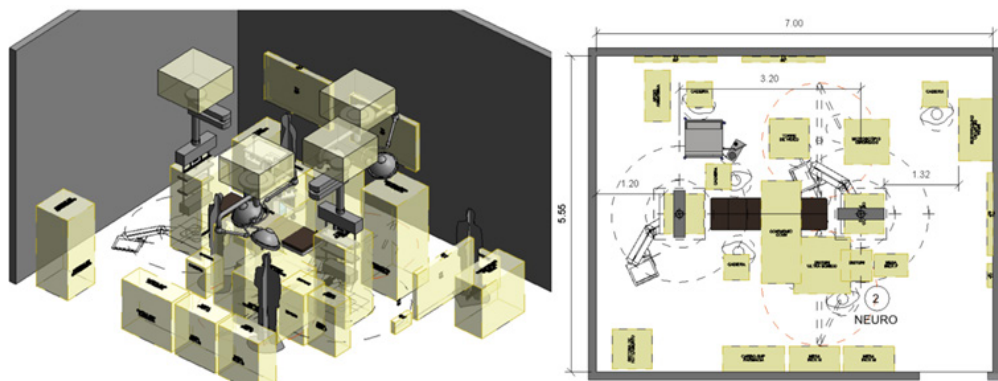
comunicação ágil. Assim, além da validação dos ambientes e da detecção e conflitos, as solicitações de ajustes e demanda de informações foram tratadas dentro da ferramenta Dalux, contribuindo para um projeto com qualidade e precisão dos dados.

Figura 3
Modelo federado.



Uma vez com os modelos iniciais dos equipamentos distribuídos no modelo federado, devido à alta complexidade da distribuição espacial, foram selecionadas as salas de cirurgia e as UTIs para serem visualizadas e analisadas espacialmente em RV. Por meio de reuniões com os projetistas, contratante e usuários finais, houve um consenso da melhor disposição dos equipamentos e de todo o posicionamento de estruturas e infraestruturas pertinentes a esses espaços. Essa etapa foi realizada com os modelos com a geometria espacial ainda de forma simplificada, como mostra a Figura 4.

Figura 4
Análise da distribuição dos equipamentos nas salas de cirurgia.



Outro objetivo desse projeto de ECH em BIM, além da validação espacial em RV, foi o uso do modelo BIM em gestão de ativos. Esse objetivo não será explorado no artigo, porém vale ressaltar que, durante a verificação inicial dos ambientes, houve a coleta de dados visando a fase de operação e manutenção dos equipamentos. Esses dados contribuíram para uma verificação espacial mais precisa, uma vez que foi realizada a importação do tipo, do modelo e do fabricante dos equipamentos para a geometria do objeto. O resultado da aplicação em gestão de ativos será tratado em estudos posteriores.

O próximo passo, para aplicação do modelo em RV, foi um maior detalhamento dos objetos BIM a partir da coleta de dados dos fabricantes referente aos equipamentos clínicos. Dessa forma, as geometrias simplificadas foram substituídas por geometrias mais detalhadas, com a finalidade de apresentar uma visualização mais próxima do ambiente real, em RV. A Figura 5 apresenta os mesmos equipamentos de raio-x portátil, plasmaferese, óxido nítrico e hemodiálise (prismaflex) modelados de forma mais precisa, com o benefício de ser identificado facilmente em RV. Nesse detalhamento, buscou-se um nível de detalhe que ajudasse na identificação, mas que não atrapalhasse na movimentação e produtividade do modelo BIM em termos de tamanho de arquivo.

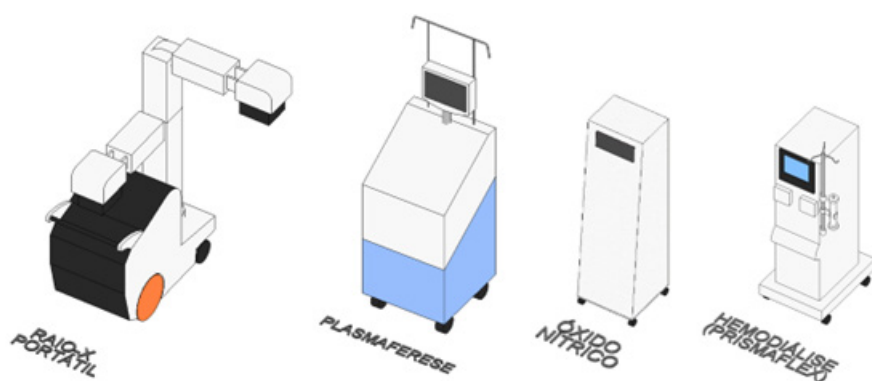


Figura 5
Exemplo do modelo detalhado dos equipamentos.

O passo seguinte foi a preparação das imagens realísticas para serem aplicadas no ambiente de RV. Para o tratamento dos objetos dos equipamentos visando a inserção de materiais, texturas e iluminação, o modelo BIM foi exportado para a ferramenta Twinmotion. Por conta do prazo e agilidade na aplicação, decidiu-se fazer o ambiente RV a partir de imagens 360° de cada sala (sala de cirurgia e UTIs). Com isso, foram criadas as imagens panorâmicas, como apresentado na Figura 6.

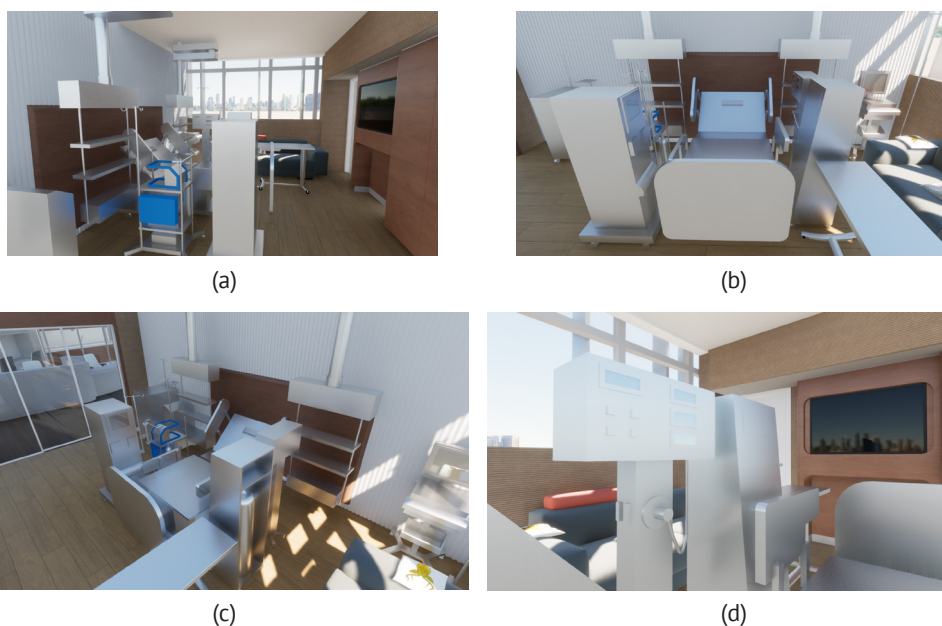


Figura 6
Salas de cirurgia e UTIs com equipamentos.

Nesse momento, é importante ressaltar que algumas dificuldades foram encontradas no processo de modelagem e tratamento do modelo, como: a escolha da ferramenta de modelagem compatível com o objetivo desejado e a ausência de recursos computacionais capazes de atender a demanda necessária para o uso de RV. Ademais, um dos obstáculos mais significativos foi a precariedade das informações técnicas disponíveis nos catálogos dos fornecedores de equipamentos hospitalares. Essa lacuna de informações representou uma limitação considerável durante o processo de modelagem. Observou-se a falta de detalhes dos equipamentos, como dimensões, especificações técnicas e outras informações relevantes para a modelagem dentro do ambiente virtual.

Dentro desse contexto, torna-se evidente a necessidade de uma colaboração mais estreita entre os fabricantes de equipamentos hospitalares e os profissionais envolvidos na modelagem BIM. Fornecer informações técnicas detalhadas desde o início do processo de design e desenvolvimento dos equipamentos é essencial para garantir a eficácia do processo e potencializar a melhoria da qualidade dos modelos BIM de equipamentos hospitalares. Essa integração é essencial para impulsionar melhorias contínuas no processo de modelagem e promover uma adoção bem-sucedida do BIM no setor de saúde.

3.2. A aplicação da RV para a experiência do usuário

A etapa de coleta de dados na aplicação de RV foi realizada em uma unidade hospitalar com a presença dos clientes, médicos e gestores do hospital (Figura 7). Foi considerado um representante de cada função para a experimentação em RV. Dentre eles, constavam uma pessoa do gênero feminino (gestora e engenheira civil) e duas do gênero masculino (cliente e engenheiro civil, e médico como usuário final), com idades entre 40 e 60 anos, sem experiência no uso de dispositivos de RV. Durante o experimento, esses usuários visualizaram as cenas das salas de cirurgia e UTIs em 360°, por meio de um *headset* de realidade virtual, em um intervalo de 5 a 10 minutos, em média. Embora o tamanho da amostra em relação à experiência do usuário não seja considerado representativo, essa etapa é vista como de suma importância.

Os recursos utilizados para essa visualização foram: Smartphone Samsung linha S, juntamente com o aplicativo *VaR's VR Video Player* e o dispositivo *VR Box Virtual Reality Glasses Headset* compatível com *smartphones*. Durante a aplicação em RV, por meio de uma entrevista não estruturada, os usuários relataram as suas percepções com relação a distribuição dos equipamentos nas salas de cirurgia e UTIs. Foram realizadas perguntas sobre a sensação de presença no ambiente, a percepção da agilidade e movimentação do corpo técnico, e sobre o entendimento e execução do projeto arquitetônico. Após a coleta desses dados, todas as solicitações de melhorias foram encaminhadas aos projetistas para alteração projetual. O Quadro 1 abaixo sistematiza a percepção dos colaboradores.

Quadro 1: Percepção dos clientes, médicos e gestores do hospital

Fatores	Relatos	Usuário
Sensação de presença no ambiente	- Fácil análise de pontos específicos do projeto como: altura do peitoril, especificação de materiais e fechamentos em vidro.	Cliente
	- Oportunidade de elaborar melhor as diretrizes para o uso do ambiente.	Cliente / Gestor
Movimentação do corpo técnico	- Certeza da posição e distribuição dos equipamentos a partir da captura de distâncias.	Médico / Cliente
	- Possibilidade de prever situações de risco como a necessidade de uso de uma grande quantidade de equipamentos ao mesmo tempo.	Médico
Execução do projeto	- Maior compreensão do projeto de arquitetura entre pessoas leigas ou não habituadas a analisar projetos.	Médico
	- Redução da criação de protótipos físicos para a validação do ambiente, trazendo diminuição de tempo e custo da construção.	Cliente

Diante das observações e respostas dos usuários que experimentaram a aplicação em RV, foi constatado que a RV ajudou em uma melhor percepção dos ambientes e colaborou para a tomada de decisões projetuais em ambientes assistenciais de saúde. De forma mais criteriosa pôde-se observar uma melhoria na comunicação e no entendimento entre os agentes envolvidos facilitando a colaboração e *feedback* sobre o projeto em tempo real. Com a visualização espacial em RV percebeu-se uma melhor compreensão do ambiente, disposição de equipamentos e fluxo de pessoas. A utilização da RV na avaliação espacial prévia de ambientes hospitalares, tanto dos projetistas, quanto dos usuários finais, poderá ser reaplicada para outros setores dos hospitais, tais como: nas farmácias e centrais de materiais esterilizados, na avaliação de seus ambientes para deslocamentos de fluxos e armazenamento de materiais, nas salas de grandes equipamentos, como da ressonância magnética, dos aceleradores lineares e da gama-câmara, na avaliação de distâncias de movimentação dos aparelhos e das pessoas, e em todas as situações onde a otimização espacial hospitalar requerer uma avaliação criteriosa de múltiplos parâmetros correlacionados.

Ademais, com a antecipação na identificação de problemas verificou-se que a RV minimizou custos associados a retrabalho e ajustes durante a construção do edifício hospitalar. Notou-se que a sua integração com o BIM possibilita a otimização de processos uma vez que a criação da biblioteca de ECH, gerada para dar materialidade ao modelo utilizado na RV, poderá ser utilizada em outros projetos dessa mesma tipologia. No entanto, percebeu-se que outras formas de criação de ambientes virtuais, com maior interação e imersão que os ambientes em 360° poderão ser exploradas em projetos futuros permitindo outros tipos de verificação que não foram escopo do presente estudo. Por fim, a aplicação da RV no projeto de arquitetura de unidades assistenciais hospitalares pode resultar em benefícios significativos, melhorando a análise da eficiência e a funcionalidade dos espaços dedicados à saúde.

4. Conclusão

Diante da complexidade inerente às unidades assistenciais hospitalares e das exigências regulatórias que orientam o seu desenvolvimento, este artigo propôs um avanço na compreensão e visualização desses espaços por meio da integração entre RV e BIM.

A pesquisa exploratória utilizada delineou um processo que incluiu a definição de critérios de modelagem BIM, a preparação do processo de modelagem e a coleta de dados na aplicação de RV. O estudo aplicado em uma unidade hospitalar em construção revelou que a modelagem inicial dos objetos de ECH em BIM facilitou a validação espacial e a detecção de conflitos, contribuindo para uma tomada de decisões mais eficiente. A posterior aplicação em RV proporcionou uma experiência imersiva aos usuários, permitindo a visualização detalhada das salas de cirurgia e UTIs, bem como a identificação de possíveis melhorias.

A percepção dos colaboradores que utilizaram a RV revelou informações significativas, como a facilidade na análise espacial, a previsão de situações de risco, a compreensão do projeto por pessoas não familiarizadas com desenhos em 2D e a redução da necessidade de protótipos físicos para validação do ambiente.

Com relação as limitações encontradas no processo de modelagem BIM, sugere-se uma colaboração mais estreita entre os fabricantes de equipamentos e os profissionais envolvidos. E apesar das limitações elencadas, a sinergia entre RV e BIM demonstrou ser promissora para otimizar a tomada de decisão projetual de unidades assistenciais hospitalares. A utilização conjunta dessas tecnologias pode proporcionar uma comunicação mais eficaz entre as equipes envolvidas, mitigar erros e retrabalho, economizar tempo e recursos, além de melhorar a compreensão do projeto como um todo, contribuindo para uma melhoria na percepção dos usuários e na qualidade desses ambientes complexos. Como trabalhos futuros, vislumbra-se uma maior interação e imersão com o uso de outras tecnologias associadas à RV.

Referências

- [1] R. de Góes, "Manual Prático de Arquitetura Hospitalar." Cidade de São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2004.
- [2] Brasil, "Ministério da Saúde. RDC n.º 50, de 21 de fevereiro de 2002." Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 20 de mar. de 2002.
- [3] A. T. Mazzeiro, "Reestruturação Física de Hospitais Gerais Existentes: uma estratégia metodológica": Belo Horizonte. Escola de Arquitetura/UFMG, 1998. 171 p.
- [4] J. F. Dyro, "Vendor and service management." In: *D. Joseph F. (ed.) Clinical Engineering Handbook*. The biomedical engineering series. Setauket, NY: Elsevier Academic Press, 2004.

- [5] S. Miodownik, "Intensive Care." In: *D. Joseph F. (ed.) Clinical Engineering Handbook*. The biomedical engineering series. Setauket, NY: Elsevier Academic Press, 2004, pp. 373-376.
- [6] C. J. Smith, R. Rane, L. Melendez, "Operating Room." In: *D. Joseph F. (ed.) Clinical Engineering Handbook*. The biomedical engineering series. Setauket, NY: Elsevier Academic Press, 2004, pp. 376-384.
- [7] Y-C. Lin et al., "Integrated BIM, game engine and VR technologies for health-care design: A case study in cancer hospital." *Advanced Engineering Informatics*, v. 36, pp. 130-145, 2018.
- [8] P. Chías et al., "3D modelling and virtual reality applied to complex architectures: an application to hospital design." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 42, pp. 255-260, 2019.
- [9] A. C. Gil, "Como Elaborar Projetos de Pesquisa." 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010, 184 p.