

Creating a Mass Customization Configurator for the Design of Social Housing Unit Renovations

Luisa Félix Dalla Vecchia¹, João Baptista¹, Pedro Roque¹, Gabriel Bittencourt¹, Tatiana Tavares¹

¹ Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil
luisa.vecchia@ufpel.edu.br; joaovbap@gmail.com; pedronmroque@gmail.com;
bittencourt.gb@gmail.com; tatiana@inf.ufpel.edu.br

Abstract. The standardization of housing disregards the different family typologies and their needs. In the case of social housing houses, families expand and renovate the units themselves. Such expansions without technical assistance can lead to many problems in the unit and neighbourhood. This study shows the development of a mass customization configurator for the design of expansions in social housing house units. Such a configurator is implemented as a co-design system, which allows the collaboration between professionals and non-professionals towards the design. For the system's development, we start from previous studies that indicate functionality and best practices in user experience design. The system is still under development; thus, simulation is used to test each aspect implemented. Results show how the system is being implemented, the results from simulations, the difficulties faced and how they are being overcome.

Keywords: Mass customization, Configurator, Social housing, Architectural design, Co-design

1 Introdução

A Customização em Massa (CM), que visa fornecer produtos com design exclusivo que melhor se adaptam às necessidades de cada usuário, com a eficiência e custos da produção em massa (Pine, 1993; Tseng & Jiao, 2007), se apresenta como uma alternativa à padronização dos espaços, frequente em contextos de Habitação de Interesse Social (HIS). Este tipo de conjunto habitacional é geralmente focado em produção em larga escala. Tal abordagem acaba por fomentar modificações que danificam a qualidade original da edificação. Tais necessidades orgânicas de adaptação do espaço se consolidam sem qualquer orientação profissional. No intuito de preservar as qualidades e características originais destas edificações agregando as modificações intentadas por seus usuários, a customização em massa ainda

alia a possibilidade de manutenção da produção menos custosa, demonstrando, portanto, grande potencial para o contexto de HIS.

A padronização das habitações desconsidera as diferentes tipologias familiares e suas necessidades. No caso de casas, as famílias fazem ampliações e reformas, porém o auxílio técnico é inacessível na maioria dos casos. Ou seja, os próprios moradores projetam as alterações. Tais mudanças nas unidades habitacionais frequentemente causam situações problemáticas como falta de ventilação e iluminação, avanços no espaço público entre outras (Digiocomo, 2004; Jorge et al., 2017).

Estudos anteriores demonstram o potencial do uso do conceito de CM para permitir a ampliação da assistência técnica em contextos HIS. Um sistema de CM em massa nesse contexto permitiria que a assistência técnica, referente ao projeto individual de reformas nas unidades habitacionais, atingisse muitas famílias sem a necessidade de ampliar os custos na mesma proporção (Dalla Vecchia, 2022). Nesse sentido, um configurador de CM é tido como ferramenta essencial para possibilitar a interação do público leigo com o projeto arquitetônico, a partir das definições dos profissionais, se configurado como um sistema de co-design, garantindo um mínimo de qualidade. Para tanto é necessário desenvolver um configurador que permita a manipulação do projeto através de uma interface mais acessível a pessoas leigas, mas que permita a transmissão de dados entre esta e as ferramentas usadas pelos profissionais. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de tal configurador para projetos de ampliações de casas em contexto HIS.

Este estudo parte de estudos anteriores em que o contexto HIS foi analisado indicando as principais funcionalidades necessárias para um configurador de CM nesse contexto (Dalla Vecchia, 2021). O sistema deverá dar um retorno ao usuário sempre que sua proposta projetual ultrapasse os limites técnicos estabelecidos. Além disso, o sistema permitirá ao usuário a visualização e melhor entendimento do projeto através de uma interface amigável. Entretanto, tais estudos anteriores não buscavam desenvolver o configurador em si, sendo esse o objetivo deste estudo.

Em seguida é apresentado o método que vem sendo adotado para o desenvolvimento do configurador. São apresentados então os resultados obtidos até o momento. Cabe salientar que esta pesquisa se encontra em desenvolvimento, portanto os resultados são parciais. Entretanto, a partir desses resultados já é possível tirar algumas conclusões bem como indicar os principais avanços, desafios e direcionamentos.

2 Métodos

Inicialmente realizou-se uma revisão teórica sobre os temas envolvidos nesta pesquisa. A partir de estudos de pós-ocupação e pesquisas referente às principais mudanças que as famílias fazem em suas casas no contexto HIS

abordado (tais como Brandão, 2011; Digiocomo, 2004; Jorge et al., 2017), foi possível estabelecer as principais funcionalidades que um configurador de CM para projetos de ampliações nesse contexto deveria incluir. Neste sentido, este estudo partiu de estudos anteriores que estabelecem as funcionalidades necessárias que tal configurador deve apresentar (Dalla Vecchia, 2021, 2022).

Além disso, foram analisados estudos referenciais sobre princípios da experiência do usuário (UX), como exemplificado por Hassenzahl (2013), em que analisando as emoções e necessidades do usuário, a construção da interface reflete em cada funcionalidade a experiência desejada. Estudos similares sobre sistemas de co-design para habitação também foram analisados (tais como Lo et al., 2015, 2019; Marino et al., 2021; Veloso et al., 2018).

Em seguida se estabeleceu como seria organizada a implementação do sistema de co-design. A figura 1 mostra as principais funcionalidades estabelecidas para o sistema e seu ordenamento de implementação. Nesta etapa foram analisadas as possibilidades de uso do sistema pelo usuário para estabelecer que tipo de plataforma, bibliotecas e formatos de arquivos seriam utilizados. A linha tracejada mostra as etapas desenvolvidas até o momento da escrita deste artigo. Portanto os resultados apresentados referem-se a estes módulos.

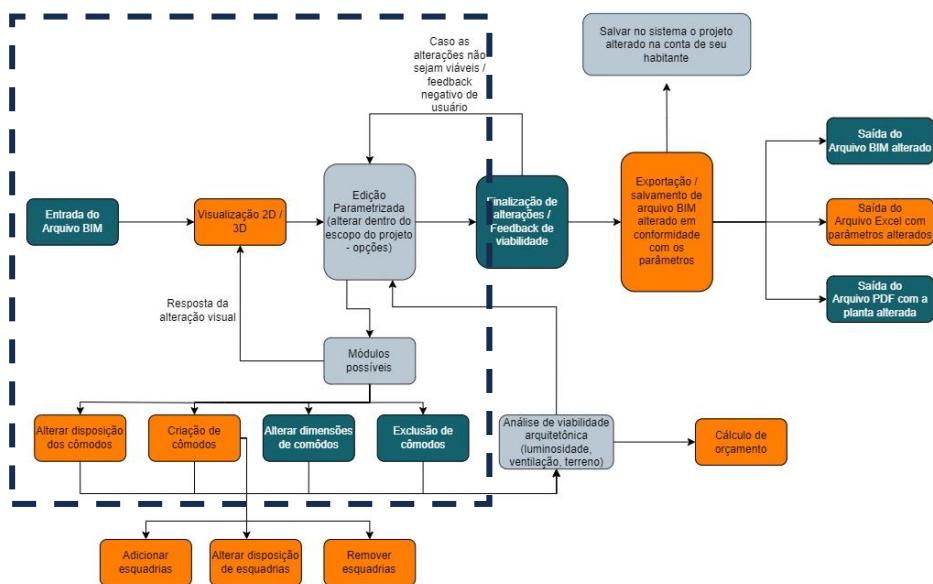


Figura 1. Fluxograma de implementação do sistema de co-design. Fonte: Autores.

Como modelo de habitação para implementação do configurador, vem se utilizando o modelo de habitação flexível desenvolvido por Dalla Vecchia (2021) para um loteamento existente. Portanto, já se tinha a tabulação de possibilidades de tipos de ampliações possíveis, bem como a sistematização

dos parâmetros urbanísticos e construtivos aplicáveis ao loteamento. Elegeu-se o software Autodesk Revit para as modelagens em BIM devido a sua disponibilidade na instituição da pesquisa.

Como etapa final deste estudo tem-se a simulação de uso para teste do sistema. A cada etapa de desenvolvimento do sistema, este é testado utilizando o modelo de habitação e simulando o uso pelos pesquisadores para identificar problemas e possíveis pontos a serem melhorados. O sistema é então modificado a partir dessa identificação retomando as etapas anteriores. Testes de usabilidade com pessoas leigas serão feitos uma vez que o sistema esteja totalmente implementado.

3 Resultados

Esta seção relata o estado atual do configurador e discute como vem sendo feita sua implementação. São indicados as dificuldades enfrentadas e os caminhos para superá-las. No item 3.1 são demonstradas as interfaces e discutida a implementação do sistema a partir de uma abordagem do usuário e de conceitos da customização em massa. Além disso, é relatada como vêm sendo feita a produção dos modelos iniciais e as dificuldades enfrentadas para seu uso no configurador. As questões computacionais da implementação do sistema são discutidas no item 3.2.

3.1 O configurador de CM

Conforme apontado em estudos anteriores, o configurador de CM, ou sistema de co-design neste caso, deve funcionar com uma combinação de uma abordagem baseada nas necessidades e uma abordagem baseada em parâmetros (Blazek, 2017; Dalla Vecchia, 2021, 2022; Randall et al., 2005). A abordagem baseada nas necessidades permite a seleção, pelo usuário, de uma opção pré-definida de ampliação que é selecionada a partir das necessidades de ampliação indicadas pelo usuário a partir da interface demonstrada na figura 2.

A gama de soluções pré-definidas para ampliações disponíveis foi modelada em BIM no software Autodesk Revit. Dada a grande gama de opções disponíveis a serem modeladas, optou-se pelo uso da função de “opções de projeto” do software, que permite a modelagem de diversas modificações a partir da geração de um modelo base em um mesmo arquivo. Esta escolha acabou se mostrando problemática no momento exportação dos arquivos para IFC (Industry Foundation Classes), formato utilizado no configurador. Não foi possível exportar cada opção de ampliação individualmente de forma que fosse reconhecido todo o modelo uma vez inserido sistema que vêm sendo desenvolvido. Percebeu-se que nem todos os componentes das opções de projetos eram exportados o que causava uma mistura dos modelos uma vez

inseridos no sistema de co-design, conforme o exemplo que aparece na figura 3. Ocorreu então uma reformulação dos modelos e uma revisão das configurações gerais de exportação para que o sistema conseguisse efetuar a leitura correta das informações enviadas. Foi necessário separar os modelos criando um arquivo no Revit para cada uma das opções de ampliação.

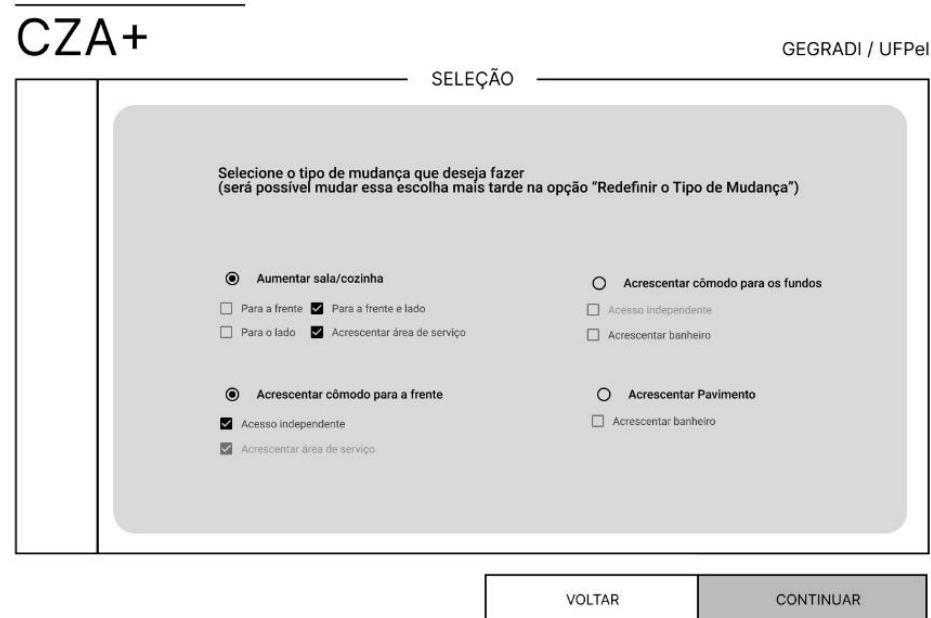


Figura 2. Interface de seleção de opções baseadas em necessidades. Fonte: Autores.



Figura 3. Modelo com erros de importação no configurador. Fonte. Autores.

A partir da seleção feita na interface baseada em necessidades (figura 2) o modelo pré-definido correspondente é apresentado na interface seguinte. Esta se refere a interface de manipulação paramétrica (figura 4) que permite alteração da opção pré-definida. Até o momento apenas a opção de mover elementos está implementada no sistema. Esta opção permite, por exemplo, selecionar uma parede e mudar sua posição, alterando assim o tamanho do cômodo. A figura 4 mostra a opção de ampliação conforme as necessidades indicadas e uma das paredes selecionadas para manipulação paramétrica.

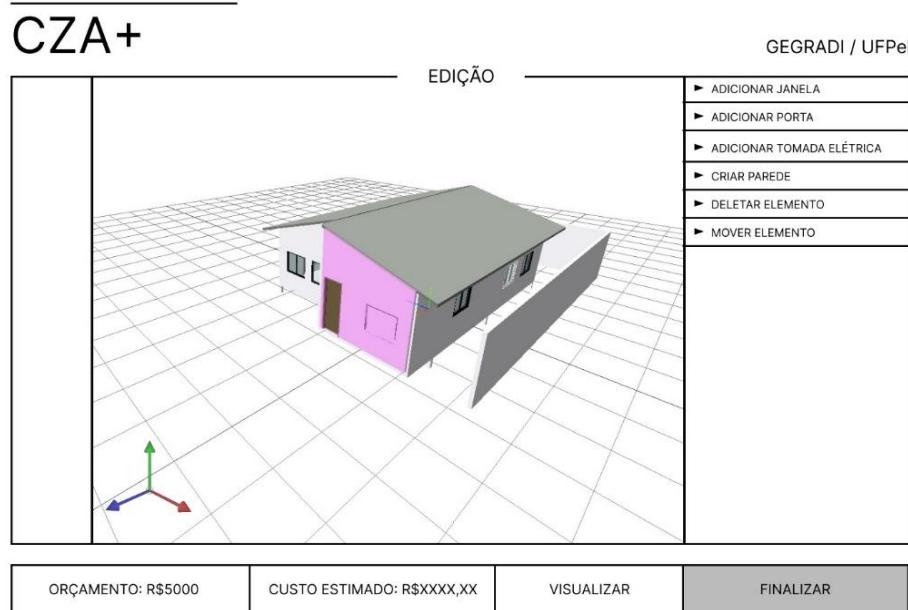


Figura 4. Interface de manipulação paramétrica. Fonte: Autores.

3.2 A implementação do sistema

A preocupação com o usuário final do sistema guiou o processo de construção do configurador. Analisando os dados da PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (IBGE, 2021), os smartphones e microcomputadores são os dispositivos mais utilizados pela população brasileira para acesso à internet. Esta informação nos guia para a construção do sistema em formato web, que possibilita a visualização e edição dos modelos 3D, mesmo em telas de smartphones.

Foi escolhido o ambiente Node.js para o desenvolvimento do sistema, devido a sua extensa documentação e baixo consumo de recursos. Além disso, desenvolvendo-se a aplicação em javascript, futuramente pode-se empacotar a aplicação para desktop com ferramentas como Electron.js.

Foi escolhido o formato IFC (Industry Foundation Classes) para a entrada de arquivos BIM no sistema tendo foco na compatibilidade com as principais ferramentas BIM do mercado e por ser um formato aberto. O IFC é um formato de dados que permite armazenar informações de geometria, materiais, propriedades e quantidades. Atualmente o foco da manipulação de IFC pelo sistema está centrado na versão IFC 2X3, devido a extensa documentação disponível.

A escolha por desenvolver o sistema em javascript se deu em função das vantagens identificadas pela equipe. Uma das principais vantagens é a quantidade de bibliotecas disponíveis para agregar ao projeto. Para realizar a importação e interpretação das informações do arquivo IFC para o sistema, foi utilizada a biblioteca IFC.js. Esta biblioteca oferece uma série de métodos que permitem carregar arquivos, ler informações e geometria, e gravar arquivos IFC criados. Uma das limitações identificadas em relação a esta biblioteca é a incapacidade, até o momento, de escrever as propriedades alteradas em tempo real no arquivo IFC. Isto torna o processo de propagação de alterações mais trabalhoso. Algumas propriedades consideradas básicas na manipulação de arquivos, ainda não implementadas revelam um grande esforço por parte das comunidades de código aberto (open source) que mantém esta biblioteca. A manipulação de arquivos BIM em tecnologias open source é afetada pela falta de financiamento, mas uma vez implementada terá a possibilidade de facilitar e baratear a construção de tecnologias sociais.

A biblioteca IFC.js permite a leitura de arquivo IFC e a leitura da geometria referente em uma cena 3D de THREE.js, biblioteca para computação gráfica em navegadores web compatíveis com WebGL. THREE.js é construída para oferecer uma abstração de alto nível de WebGL, agilizando implementações de projetos que utilizem gráficos, com Javascript. É com THREE.js que são realizadas todas as transformações da geometria no sistema. Se fez necessário a adaptação do método de modelagem 3D, tanto para simplificar visualmente para o usuário final, que é leigo em edição 3D, quanto para inserir as alterações no formato IFC. As propriedades de um modelo IFC importado podem ser lidas em formato JSON, o que simplifica a alteração de dados, mas sem um método implementado para a aplicação das propriedades à geometria em tempo real, o processo de alteração envolveria escrever e ler o arquivo em uma escala incompatível com a performance desejada no sistema. A visualização 2D também será implementada com esta biblioteca.

Tendo em vista a necessidade de que o sistema possa ser usado em diversos bairros diferentes, inclusive em cidades diferentes, é necessário implementar uma forma de alimentar o sistema com os parâmetros para o loteamento específico. A obtenção dos parâmetros urbanísticos e construtivos referentes ao loteamento deve ser feita em conjunto ao processo de upload para o sistema, do projeto base e suas variações, pelo arquiteto. Pensando em automatizar o processo, a entrada dos parâmetros se dá via tabela padronizada em formato .XLSX, que posteriormente será disponibilizada para os arquitetos usuários do sistema. Após a leitura dos parâmetros, as

informações precisam ser atribuídas como propriedades do modelo e carregadas à cena do editor, onde pautarão cada uma das funcionalidades implementadas, e permitirão ao editor dar o feedback sobre a viabilidade de cada alteração feita pelo usuário no modelo.

Umas das considerações para implementações futuras é o uso de formato CSV por ser não proprietário, e pela facilidade de seu uso no caso da criação de um plugin para exportação dos parâmetros diretamente do Revit. Esta abstração reduziria a quantidade de informações que o arquiteto precisaria considerar a cada exportação de modelo, o que diminuiria também a possibilidade de erro em valores.

Baseado na descrição das alterações mais recorrentes em projetos habitacionais e as possibilidades de expansão que geram os parâmetros urbanísticos, foram definidas as seguintes funcionalidades de manipulação do modelo BIM no editor, consideradas básicas para operação do sistema: a seleção de variação de modelo com expansão desejada, a seleção de componentes da geometria com o mouse/touch, a visualização das propriedades de um componente selecionado pelo usuário, a aplicação de transformações geométricas ao modelo (focando neste momento apenas na translação no espaço 3D, porém há possibilidades de rotação e escala, para serem utilizadas em futuras iterações do projeto), a extrusão ou seção de paredes e a verificação da viabilidade da alteração proposta pelo usuário.

Devido a existência de diversas fases e atores durante o processo de construção do projeto, há uma edição intensa de informações e não raro o uso de mais de uma plataforma para a edição (Lira et al., 2009). O formato IFC elimina a redundância de entradas a cada iteração entre plataformas e isto o torna a opção mais versátil para o sistema, aliado ao fato de ser um formato aberto. Após as alterações geradas pelo usuário no editor do sistema, ocorre o salvamento do arquivo editado em servidor. Este arquivo é salvo com os dados das alterações feitas pelo usuário, e deve retornar ao arquiteto projetista, podendo ser reimportado para o Revit. Sendo a exportação em formato IFC voltada para os profissionais envolvidos no projeto, também se faz necessário a exportação da planta baixa alterada em um formato acessível para leigos e de fácil interpretação. Assim o sistema retorna para o usuário arquivos PDF da planta baixa alterada, criados a partir da visualização em 2D do modelo. Atualmente o sistema ainda não conta com a visualização da metragem e proporções na planta baixa, mas será implementado com o desenvolvimento do projeto.

A visualização em 2D que gera a planta baixa é implementada utilizando uma câmera extra na cena, em modo de visão ortogonal, em conjunto com um plano de corte sobre a geometria. Esta técnica permite a visualização do modelo como uma planta baixa. Para realçar as arestas da geometria, facilitando a visualização pelo usuário, aplica-se um shader para realçar a espessura das bordas. Assim replica-se um resultado visual muito semelhante ao de softwares de CAD na planta baixa gerada.

4 Discussão e Conclusões

O desenvolvimento de sistemas de customização em massa com ferramentas de código aberto (open source) tem o potencial de levar à área de habitação de interesse social diversos processos que ficavam reservados aos empreendimentos imobiliários de alto padrão, tais como alterações no projeto inicial, projetos para ampliações, entre outras. As inovações em materiais, processos produtivos e sistemas digitais delinearão a nova experiência de produto e mercado, onde o aumento da produção e a personalização não geram um aumento proporcional do custo de produção (Bodanzky et al., 2019). E dada a facilidade da criação da variabilidade em tempo de projeto arquitetônico, a implantação de sistemas de customização em massa para atender as necessidades de usuários no pós-ocupação. Tal ferramenta se configura como um sistema de co-design permitindo a interação de leigos com o projeto mantendo as definições estabelecidas pelos profissionais. Tal ferramenta tem o potencial de ampliar a qualidade do projeto em um ambiente em que o mesmo muitas vezes é inexistente. Por outro lado, reduz o tempo de revisão uma vez que os parâmetros permissíveis são estabelecidos no início do processo por profissionais da área.

Por se tratar da ampliação de habitações em um ambiente em que as famílias já são acostumadas a construir como desejam, restringir as opções somente às predefinidas poderia levar ao sistema ser ignorado e as ampliações feitas como de costume, autoprojetadas, levando aos problemas indicados anteriormente (Dalla Vecchia, 2021). Trata-se de um produto complexo – projetos de habitações – que, portanto, apresenta muitas alternativas e restrições, resultando em um configurador cuja implementação é igualmente complexa. Dessa forma, as dificuldades enfrentadas para implementação do configurador, o sistema de co-design, são muitas. Apesar das dificuldades, as funcionalidades indicadas na figura 1 estão operacionais no sistema de forma que a complexidade não aparece para o usuário que interage em uma interface mais amigável. Os testes e simulações realizados pelos pesquisadores permitiram realizar ajustes no sistema, inclusive adotando nova abordagem quando necessário. Muitas vezes, com a implementação de novas funcionalidades é necessário rever e ajustar as que já estavam implementadas para que funcionem bem em conjunto.

Por encontrar-se em desenvolvimento, o sistema ainda depende de algumas etapas manuais em que o ideal seria sua automação. Por exemplo, processos generativos de projeto e tecnologias de inteligência artificial já permitem implementar sistemas para a geração automatizada das opções iniciais pré-definidas de ampliação (Castro Pena et al., 2021; Marino et al., 2021; Para et al., 2020). Porém, por este não ser o foco inicial deste projeto, atualmente estas opções estão sendo modeladas individualmente pelos pesquisadores. São necessários mais estudos nesse sentido, para aplicação neste configurador.

De forma similar, entende-se que um sistema desse tipo, para aplicação em HIS, seria de grande valia em assentamentos informais. Entretanto, para esta aplicação, seria necessário o desenvolvimento de processos para automatizar o máximo possível a captura da residência existente tendo em vista que esta não partiu de um modelo padrão como nos loteamentos de programas formais de HIS. Entende-se, que uma das vantagens de um sistema desse tipo seja permitir a ampliação de ações de assistência técnica, referente ao projeto individual, para alcançar muitas famílias sem a necessidade de ampliar o orçamento para tal fim na mesma proporção (Dalla Vecchia, 2022). Portanto, se o levantamento inicial da unidade inicialmente construída de forma informal depender de métodos tradicionais este se torna demorado e trabalhoso exigindo mais recursos e aumentando os custos. Portanto, são necessários mais estudos para a captura e geração em BIM de ambientes existentes para permitir esse tipo de aplicação.

Entende-se que os objetivos deste projeto vêm sendo alcançados. Acredita-se que no primeiro semestre de 2024 o sistema já estará operacional o suficiente para ser testado com pessoas leigas o que permitirá avançar ainda mais nas questões de usabilidade e experiência do usuário.

Acknowledgements. Esta pesquisa vem sendo realizada com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências

- Blazek, P. (2017). The Evolutionary Process of Product Configurators and Characteristics of Configurable Products. In F. Schillaci (Ed.), *Product configurators: tools and strategies for the personalization of objects* (pp. 38–46). Routledge.
- Bodanzky, A., Santos, J. R. L. dos, Mont'Alvão, C., & Quaresma, M. (2019). Mass customization and dynamic reconfiguration of incomplete products. *DAT Journal*, 4(1), 52–64. <https://doi.org/10.29147/DAT.V4I1.111>
- Brandão, D. Q. (2011). Disposições técnicas e diretrizes para projeto de habitações sociais evolutivas. *Ambiente Construído (Online)*, 11(2), 73–96. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000200006>
- Castro Pena, M. L., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I., & Romero, J. (2021). Artificial intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture. *Automation in Construction*, 124, 103550. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103550>
- Dalla Vecchia, L. F. (2021). The use of Mass Customization to Improve Environments in Social Housing Neighbourhoods in Brazil [Doctoral, University of Calgary]. <https://prism.ucalgary.ca/handle/1880/112960>

- Dalla Vecchia, L. F. (2022). Sistema de customização em massa para a melhoria da qualidade projetual de ampliações de casas no contexto de HIS. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 17(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.11606/gtp.v17i4.196738>
- Digiacomo, M. C. (2004). *Estratégias de projeto para a habilitação social flexível* [Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/86944>
- Hassenzahl, M. (2013). User experience and experience design. In *The encyclopedia of human-computer interaction* (Vol. 2, pp. 1–14).
- IBGE. (2021). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17270-pnad-continua>.
- Jorge, L. de O., Medvedovski, N. S., Santos, S., Junges, P., & Silva, F. N. da. (2017). A transformação espontânea das unidades habitacionais do loteamento Anglo em Pelotas/ RS: Reflexões sobre a urgência do conceito de Habitação Social Evolutiva. *Cadernos Proarq*, 29, 122–153. <http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/en/paginas/edicao/29>
- Lira, M., Andrade, V. X. De, & Doutora, P. (2009). Interoperabilidade de Aplicativos BIM Usados em Arquitetura por Meio do Formato IFC. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 4(2), 76–111. <https://doi.org/10.4237/GTP.V4I2.102>
- Lo, T. T., Mohamed, B., & Schnabel, M. A. (2019). Redefining Supports: Extending Mass Customization with Digital Tools for Collaborative Residential Design. In J. Gero (Ed.), *Design Computing and Cognition '18* (pp. 213–225). Springer, Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-05363-5_12
- Lo, T. T., Schnabel, M. A., & Gao, Y. (2015). ModRule: A User-Centric Mass Housing Design Platform. In G. Celani, D. M. Sperling, & J. M. S. Franco (Eds.), *Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment* (pp. 236–254). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47386-3_13
- Marino, P. O. P., Maia, M. A., Campos, B. P., & Vaz, C. E. V. (2021). Automated Generation of Layouts and Budgets: Development and Application from Written Programming and Parametric Modeling. *XXV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, 759–770. <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/automated-generation-of-layouts-and-budgets-development-and-application-from-written-programming-and-parametric-modeling-37118>
- Para, W., Guerrero, P., Kelly, T., Guibas, L., & Wonka, P. (2020). Generative Layout Modeling using Constraint Graphs. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 6670–6680. <https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.00662>
- Pine, B. Joseph. (1993). *Mass customization : the new frontier in business competition*. Harvard Business School Press.
- Randall, T., Terwiesch, C., & Ulrich, K. T. (2005). Principles for User Design of Customized Products. *California Management Review*, 47(4), 68–85. <https://doi.org/10.2307/41166317>

Tseng, M. M., & Jiao, J. (2007). Mass Customization. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Industrial Engineering* (pp. 684–709). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470172339.ch25>

Veloso, P., Celani, G., & Scheeren, R. (2018). From the generation of layouts to the production of construction documents: An application in the customization of apartment plans. *Automation in Construction*, 96, 224–235.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.09.013>