

TRANS VERSO

n. 15

nov.
2024
ano 12

ISSN
2236
4129

**Escola
de Design**
UEMG

editora



Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG

Reitora

Lavínia Rosa Rodrigues

Vice-reitor

Thiago Torres Costa Pereira

Chefe de Gabinete

Raoni Benito da Rocha

Pró-reitora de Planejamento, Gestão e Finanças

Sílvia Cunha Capanema

Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação

Vanesca Korasaki

Pró-reitora de Ensino

Patrícia Maria Caetano de Araújo

Pró-reitor de Extensão

Moacyr Laterza Filho

Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais

Diretora

Heloisa Nazaré dos Santos

Vice-diretora

Patrícia Pinheiro de Souza

Centro de Extensão - Coordenação

Yuri Simon da Silveira

Pesquisa - Coordenação

Daniel Cardoso Alves

EdUEMG – Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais

Coordenação

Gabriella Figueiredo Noronha Pinto

TRANS VERSO

n. 15

nov. 2024
ano 12

ISSN
2236
4129

**Escola
de Design**
UEMG

editora | 
UEMG

Conselho Editorial

Angélica Adverse

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Carlo Franzato

Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio)

Cleomar Rocha

Universidade Federal de Goiás (UFG)

Glaucinei Rodrigues Corrêa

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Gonçalo Vasconcelos e Sousa

Universidade Católica Portuguesa (UCP-Porto. PT)

José Maria Gonçalves da Silva Ribeiro

Universidade Federal de Goiás (UFG)

Luiz Henrique Ozanan

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Mariane Garcia Unanue

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Moacyr Laterza Filho

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Natália Mol

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Patrícia Helena Soares Fonseca Rossi de Resende

Fundação Armando Alvares Penteado (FAAP-SP)

Paulo César Machado Ferroli

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Editora Chefe

Rosângela Míriam Lemos Oliveira Mendonça (UEMG)

Editores Adjuntos

Iara Aguiar Mol (UEMG)

João Paulo de Freitas (UEMG)

Editor Convidado

Paulo César Machado Ferroli (UFSC)

Equipe de Revisão

Charles Antonio de Paula Bicalho (UEMG)

Iara Aguiar Mol (UEMG)

João Paulo de Freitas (UEMG)

Rosângela Míriam Lemos Oliveira Mendonça (UEMG)

Heitor Vinicius Alves da Silva

Design

Laboratório de Design Gráfico (LDG - ED/UEMG)

Projeto | Ricardo Portilho Mattos

Coordenação LDG | Mariana Misk Moysés

Coordenação de projeto | Iara Aguiar Mol

Equipe

Ana Beatriz Alves Assunção

Ana Letícia Resende Fusco Nogueira

Nicole Dias Carneiro

Bolsista

Anna Beatriz de Melo Teodolino (UEMG)

Linha Editorial

A Revista Eletrônica Transverso é uma publicação on-line, de periodicidade semestral, do EILAB (Laboratório de Empreendimentos Integrals), vinculado ao CEDA (Centro de Design de Ambientes) da Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

As publicações da Revista são trabalhos com vínculos inter e transdisciplinares do design com a arquitetura e urbanismo, artes e letras, bem como com as ciências humanas em geral e outras ciências sociais aplicadas.

T772

Transverso [recurso eletrônico] / Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais. - Ano.12 - n.15. - (Nov. 2024) -. - Belo Horizonte: EdUEMG, 2024.

Anual: 2010-2016. Semestral: 2017-2024.

Periódico. On-line.

Acesso: <https://revista.uemg.br/index.php/transverso/about>

ISSN: 2236-4129

1. Design (projetos) - Periódicos. 2. Arquitetura - Periódicos. 3. Cultura - Aspectos sociais. I. Mendonça, Rosângela Míriam Lemos Oliveira. (Ed). II. Mol, Iara Aguiar. III. Freitas, João Paulo de. IV. Universidade do Estado de Minas Gerais. Escola de Design. V. Título

CDU: 7.05

Ficha Catalográfica Bibliotecária: Adriana Maria Alves da Silva
CRB6/003739/0

Pareceristas/ Avaliadores

Adriane Shibata Santos

Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE)

Aguinaldo dos Santos

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Amilton José Vieira de Arruda

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Andrea Jaramillo Benavides

Pontifícia Universidade Católica do Equador (PUC-Ecuador)

Carlo Franzato

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Danilo Corrêa Silva

Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE)

Felipe Luis Palombini

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade

Instituto Politécnico de Leiria (IPLeiria-Portugal)

Lisiane Ilha Librelotto

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Luana Toralles Carbonari

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Nadja Maria Mourão

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Paulo Cesar Machado Ferroli

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Rachel Faverzani Magnago

Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL)

Tomás Queiroz Ferreira Barata

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP)

Editorial

O objetivo da Revista Transverso é a divulgação da produção acadêmica “que tenha por eixo estrutural a tematização crítica do design, a partir dos seus vínculos com as letras, as artes e as ciências humanas e sociais”. Dentro da dinâmica estabelecida pela comunidade científica, os artigos publicados em periódicos são indicadores da qualidade das instituições, profissionais e produção científica ressaltando também as temáticas mais impactantes e inovadoras. Assim, as próprias revistas são avaliadas e classificadas a partir de uma série de critérios, dentre os quais: tempo de existência com publicação regular; periodicidade de publicação; número de artigos por ano; bases indexadas onde consta; disponibilidade online; publicação em língua portuguesa e em idioma estrangeiro; composição do conselho editorial por pesquisadores de diferentes instituições, inclusive internacionais; percentual de artigos com diversidade institucional também de autores. Portanto, a endogenia deve ser mantida em níveis baixos, incentivando as revistas a priorizarem a publicação de artigos assinados por autores afiliados a instituições externas à sua origem. Esse enfoque contribui para a formação de uma rede colaborativa entre instituições e autores, promovendo, de maneira eficaz, a qualidade e a credibilidade das publicações.

Num contexto afim, eventos acadêmicos congregam profissionais e instituições, reunidos em torno do interesse pelo tema proposto por ele. Os procedimentos de seleção de artigos são semelhantes àqueles das revistas científicas, que passam por uma avaliação duplo-cego, onde avaliadores não sabem quem são os autores, e vice-versa. Os artigos selecionados, usualmente, constam nos anais do evento. Ao serem apresentados, recebem comentários que são mais um nível de avaliação do trabalho. Portanto, o aprimoramento do trabalho científico cresce e o(s) autor(es) têm material para produção de artigos ampliados e aprofundados sobre o tema. Nas suas últimas publicações, a Revista Transverso pôde contar com parcerias com eventos que abordam a temática da sustentabilidade nas áreas do Design, Arquitetura e Engenharia. Também esta edição é composta por artigos selecionados do último evento do ENSUS - XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Acreditamos que trabalhos que se estruturam em torno do tema da sustentabilidade, lidando com questões sociais, econômicas e ambientais (que chamamos de sustentabilidade integral) precisam ser valorizados e divulgados e que, cada vez mais, design e sustentabilidade precisam ser indissociáveis. Nossas publicações têm, então, a intenção de serem inspiradoras para estimular esse movimento do design e áreas interrelacionadas.

Assim, aos procedimentos do ENSUS, foram associados todo um cuidado de revisão de texto e material gráfico, e um trabalho editorial para a publicação. É um processo minucioso e longo, que requer vários especialistas. Atualmente podemos remunerar com recursos da universidade apenas nossa bolsista. A equipe de editores contrata, pessoalmente, um revisor para verificação do formato ABNT. Revistas que cobram dos autores por suas publicações e não usam seus próprios meios para avaliação e revisão (explorando desse trabalho já realizado pelos envolvidos no evento, que monitoram para contatar os autores de suas apresentações e anais), são consideradas predatórias, em função do seu caráter desarmônico que tira vantagem do trabalho de outros sem a devida contrapartida. No entanto, entendemos que é necessário pensar meios de tratar a produção de revistas vinculadas a instituições acadêmicas como um trabalho que precisa ganhar em valorização para também ser sustentável, estimulando produções de valor cada vez maior.

Agradeço a todos os envolvidos nesta publicação e convido os leitores a usufruírem destes trabalhos, utilizando-os como fonte de inspiração para impulsionar suas próprias iniciativas sustentáveis. Façam contato conosco para apresentar sugestões e comentários — isso será importante para a nossa construção conjunta de um trabalho de qualidade para uma sociedade sustentável.

Boa leitura!

Rosângela Míriam

Editora Chefe da Revista Transverso

Editorial [cont.]

A revista Transverso tem se destacado no cenário nacional na difusão dos conhecimentos na área do design. E nesta edição especial com a inclusão de artigos que foram selecionados do evento ENSUS 2024, aborda fundamentalmente a problemática ambiental em um contexto de design.

O ENSUS (Encontro de Sustentabilidade em Projeto) é um evento multidisciplinar que está atualmente em sua décima terceira edição. No ano de 2024 foi organizado em parceria entre as universidades UFMG, UEMG e UFSC.

A sustentabilidade é um assunto que difere um pouco de outros “científicos”. Um pouco antes de me concentrar neste editorial, estava lendo uma reportagem: “Físicos podem ter achado caminho para viagem no tempo”. Embora a reportagem adaptasse o texto objetivando uma leitura “popular”, os termos “cordas cósmicas” e “ondas gravitacionais” não são de entendimento simples. Então, apesar de magnífico, e considerando também o fato de que as implicações práticas para nosso dia-a-dia de semelhante estudo remeterem a alguns séculos a frente (quando inevitavelmente todos os que estão no momento lendo a reportagem já estarão mortos), acaba por despertar o interesse de pouca gente.

A questão da sustentabilidade não é assim. Apesar de ser tão “rigorosamente científica” quanto no caso da viagem do tempo (como mero exemplo aqui), não se trata de assunto com termos não populares, ou com consequências longevas. Nos dias atuais, estar ciente das implicações das ações humanas no nosso planeta é necessário e obrigatório a todos nós, seres humanos. Em 2019, na cidade de Lisboa, vi um grande outdoor, que entre outras coisas dizia:

“Precisamos dos indiferentes, dos conformados e dos céticos. [...] Dos que não querem e dos que não creem. Precisamos até dos que não fazem por mal”.

É imperativo que o conhecimento da questão ambiental seja difundido o máximo possível... e por isso, dentro de nosso país, é fundamental a difusão dos textos científicos em língua portuguesa. Existe (e não é algo recente) uma tendência de certo “menosprezo” por parte da academia pela produção científica escrita na língua vernácula, cujas citações e referências são preteridas em larga escala pelos textos em língua inglesa (especialmente). Contudo pesquisas apontam que menos de 5,5% da população brasileira entende de forma intermediária o inglês, e apenas 1,5% apresenta o conhecimento da língua inglesa de forma fluente. Esta parcela de 1,5% está quase toda concentrada na população cuja escolaridade é, no mínimo, superior.

Os conhecimentos amplos nos aspectos da sustentabilidade envolvem questões econômicas, sociais e ambientais. Somente a integração destes três aspectos, metaforicamente imaginando uma intersecção matemática entre três conjuntos, será capaz de delinear os efeitos que originam a causa final.

Dessa forma, a integração da sustentabilidade no aspecto projetual, tema principal aqui contemplado, traça e explicita a linha tênue que norteia as funções das chamadas profissões projetistas, representadas sobretudo pelos designers, arquitetos e engenheiros. Uma análise da Agenda 2030 da ONU, dos 17 ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) — ou 20, como proposto recentemente pelo Brasil — mostra claramente a importância que o projeto, na concepção mais ampla da palavra, tem no processo.

Pouco ou até em alguns casos nada se pode fazer com o que já está criado, em uso. As ações para tais produtos são em geral paliativas, cujo eficácia ou eficiência depende de fatores que sobrepõem na maioria dos casos a vontade (ou capacidade) local. É com isso em mente, que designers, arquitetos e engenheiros precisam adaptar-se ao enorme desafio da integração de fatores qualitativos e quantitativos, integrando ao modo econômico vigente, as necessidades sociais e ambientais urgentes ao nosso futuro comum.

Este volume reúne artigos de universidades das mais variadas regiões do Brasil, com pesquisas de ponta na área da sustentabilidade, com foco no design. Desejo a você, caro(a) leitor (a) uma boa reflexão, e que os preceitos aqui delineados sejam direcionados à busca pela melhoria contínua na área.

Paulo Cesar Machado Ferroli

Editor Convidado da 15ª Edição da Revista Transverso

Sumário

13 Revisão da literatura científica sobre o uso da impressão 3D na produção de próteses infantis de membro superior

Bárbara Bernadelli Ribeiro,
Laura Duarte Santana,
Pedro Henrique Gonçalves.

26 Ferramentas para potencializar a participação infantil em processos de planejamento, desenho urbano e projeto de espaços livres urbanos

Paula Barros,
Ana Clara Moura,
Anna Pires Diniz,
Marcela Rodrigues de Almeida Sanches,
Mariana Protázio Santos.

44 Pensamento *Lean e Green* e embalagens plásticas de insumos em indústria de biscoitos de Arapiraca - AL: análise do uso para melhoria ambiental

Maria Francilania Fontes Barbosa,
Luiza Quixabeira Rosa e Silva Rapôso.

64 Fabricação digital de modelos e protótipos: elementos de conexão para peças planas e cilíndricas

Lívia Brito da Cruz, Camilla Martins Freire
Mariana Rodrigues Rizzi, Tomás Queiroz Ferreira
Barata, Cyntia Santos Malaguti de Sousa.

76 Contribuições do design afetivo para a sustentabilidade no design de produtos: uma revisão

Erik Felipe Caetano da Silva,
Jocelise Jacques de Jacques,
Clariana Fischer Brendler.

Sumário [cont.]

96 Integração de escalas para gestão integrada e participativa da sustentabilidade: do bairro ao edifício

Lisiane Ilha Librelotto,
Ernestina Rita Meira Engel,
Mel Ramos da Rosa,
Eduarda Cardoso da Luz,
Paulo Cesar Machado Ferrolli.

116 Importância da infraestrutura urbana na consolidação de cidades inteligentes

Isaias Carlos de Azevedo Júnior,
Raquel Diniz Oliveira,
Flávia Spitale Jacques Poggiali.

133 Estudo comparativo entre os métodos de produção tradicional e impressão 3D de órteses plantares

Bárbara Bernadelli Ribeiro,
Laura Duarte Santana,
Sofia Maria Mecnas Areias Lima,
Pedro Henrique Gonçalves.

147 Qualitative and comparative assessment of natural ventilation flow patterns through the use of physical models in a Water Table and CFD simulations

Roseana Martins Ribeiro,
Fernando da Silva Almeida,
Luciano Suski,
Michele Fossati,
Martin Ordenes.

TRANS VERSO

01 **Revisão da literatura científica sobre o uso da impressão 3D na produção de próteses infantis de membro superior**

recebido em 22/08/2024
aprovado em 22/09/2024

Revisão da literatura científica sobre o uso da impressão 3D na produção de próteses infantis de membro superior

Bárbara Bernadelli Ribeiro

bernadelli@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Laura Duarte Santana

lauraduarte@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Pedro Henrique Gonçalves

pedrogoncalves@ufg.br
Universidade Federal de Goiás

RESUMO (PT): A impressão tridimensional (3D) tem se destacado na fabricação de próteses, oferecendo redução de custos, menor desperdício, rapidez e personalização especialmente para crianças amputadas, que frequentemente necessitam de novas próteses devido ao crescimento. Este trabalho objetiva agrupar, sintetizar e analisar algumas evidências encontradas na literatura científica sobre o uso da impressão 3D na produção de próteses para membro superior, com foco no público infantil. Foram analisados nove artigos, selecionados sistematicamente em bases de dados e avaliados com ferramentas de checklist. A maioria dos estudos revelou melhorias significativas nos parâmetros avaliados e, todos concordaram com a necessidade de mais pesquisas sobre o tema. Observou-se a indicação de aprimoramento estético, aumento da segurança e exploração de novos designs para ampliar as funcionalidades das próteses. Portanto, as evidências podem contribuir para o avanço contínuo da área, identificando lacunas e oportunidades para o desenvolvimento de próteses impressas mais eficazes e estéticas para crianças.

Palavras-chave: próteses, impressão 3D, membro superior, crianças.

ABSTRACT (ENG): Three-dimensional (3D) printing has been prominent in the manufacture of prostheses, providing cost reduction, less waste, speed and customization, especially for amputee children, who frequently require new prostheses due to growth. This work aims to group, synthesize and analyse some evidence found in the scientific literature on the use of 3D printing in the production of upper limb prostheses, focusing on children. Nine articles were analysed, systematically selected from databases and evaluated with checklist tools. Most studies revealed significant improvements in the evaluated parameters, and all agreed on the need for further research on the subject. Note the indication of aesthetic improvement, increased safety and exploration of new designs to expand the functionalities of prostheses. Therefore, the evidence can contribute to the continuous advancement of the area, identifying gaps and opportunities for the development of more effective and aesthetic printed prostheses for children.

Keywords: prosthetics, 3D printing, upper limb, children.

1. Introdução

A amputação é definida como a secção de um membro ou de parte dele para fins terapêuticos, ou seja, para o tratamento de doenças, e é classificada quanto à causa e de acordo com o nível onde é realizada (Carvalho, 2006, p. 311).

A classificação pode ser conforme a etiologia e o nível anatômico em que é executada. Quanto a etiologia, as amputações congênitas ocorrem quando há ausência de um ou mais membros ou segmentos corporais desde o nascimento, enquanto as amputações traumáticas resultam da perda de um membro ou parte dele em decorrência de eventos traumáticos ou acidentes. De acordo com a classificação anatômica, as amputações são categorizadas em sete principais tipos: amputação parcial da mão, transradial, transumeral (também conhecida como amputação de braço), desarticulação do punho, desarticulação do cotovelo, desarticulação do ombro e amputação escápulo-umeral (Barbin, 2017, p.16).

Essa intervenção pode ser crucial para salvar a vida do paciente em situações de doenças graves ou traumas, além de potencialmente melhorar sua qualidade de vida. No entanto, a amputação provoca mudanças profundas na vida do indivíduo, afetando tanto aspectos funcionais do dia a dia quanto a participação social e a percepção da imagem corporal (Brasil, 2014, p. 318). Essas dificuldades tornam-se ainda mais significativas durante a adolescência, um período em que a imagem corporal, o relacionamento com os pares e o desenvolvimento da própria identidade são determinantes na esfera psicossocial (Giacconi, 2019, p. 540).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a palavra reabilitação é definida como processo que capacita pessoas com deficiência para a autonomia (Brasil, 2006, p. 146). O conceito de reabilitação relaciona-se à independência funcional do amputado, influenciando também na melhora dos aspectos da autoimagem e das relações sociais. Neste contexto, dentre os vários mecanismos de reabilitação, estão as próteses, que são dispositivos destinados a suprir a ausência completa ou parcial de um membro, classificadas quanto à funcionalidade, confecção e tipo de fonte para o seu acionamento (Stocco e Rodrigues, 2020, p. 66).

As próteses podem ser classificadas em quatro tipos principais: passivas, ativas, mioelétricas e híbridas (Barbin, 2017, p. 15). As próteses passivas, também conhecidas como estéticas, são leves e focadas no aspecto visual, oferecendo pouca ou nenhuma funcionalidade. Já as próteses ativas, ou funcionais, proporcionam alguma funcionalidade ao serem acionadas pelo movimento do coto. As próteses mioelétricas, por sua vez, utilizam estímulos musculares captados por eletrodos na pele para gerar movimento, requerendo um controle muscular preciso. Por fim, as próteses híbridas, combinam uma articulação mecânica com uma mão mioelétrica, utilizando energia externa para funcionamento (Barbin, 2017, p. 16).

As mãos protéticas podem ser classificadas em três categorias principais: estéticas, mecânicas e mioelétricas (Castaneda, 2021). As mãos estéticas são próteses passivas, estruturadas com espumas e arames internos que reforçam os dedos. As mãos mecânicas são próteses ativas, acionadas por tirantes, e possuem um mecanismo interno com três dedos funcionais que permitem realizar movimentos de pinça. Por sua vez, as mãos mioelétricas são próteses ativas que utilizam potenciais elétricos captados por eletrodos na pele para ativação (Castaneda, 2021).

Com os avanços da tecnologia na atualidade, existem próteses mais funcionais, porém com um preço muito elevado. O alto custo das próteses de membros superiores representa uma barreira econômica para muitas famílias, especialmente no caso de crianças, que necessitam de ajustes frequentes e trocas constantes das próteses para acompanhar seu crescimento contínuo (Gretsch *et al.*, 2016, p. 402). Por exemplo, de acordo com a organização sem fins lucrativos *Amputee Coalition*, as crianças geralmente precisam de uma nova prótese a cada dois anos até completarem os 18 anos, devido ao crescimento de seus corpos (Smith, 2009, p. 3).

A aplicação da tecnologia de impressão tridimensional (3D) ao desenvolvimento de prótese de mão é um caminho promissor para a redução de custos (Gretsch *et al.*, 2016, p. 401). De modo geral, a impressão 3D normalmente emprega fabricação aditiva, na qual um modelo 3D digitalizado é manipulado e depois impresso em camadas sucessivas para construir o objeto desejado (Francoise *et al.*, 2020, p. 420). Além do baixo custo, a modelagem por deposição fundida possui vantagens como fabricação rápida, limpeza e fácil operação, que tornam a impressão 3D adequada para esse tipo de produção (Huang *et al.*, 2019, p. 1250).

Nesse contexto, a produção de próteses de membros superiores por meio da impressão 3D, com seu alto nível de customização, surge como uma oportunidade promissora para auxiliar na reabilitação de pacientes amputados, especialmente crianças, que necessitam de um acompanhamento constante. Dessa forma, torna-se relevante a realização de estudos científicos sobre essa aplicação, a fim de difundir e promover seu desenvolvimento. Assim, este trabalho tem como objetivo reunir, sintetizar e analisar as evidências disponíveis na literatura científica sobre o uso da impressão 3D na fabricação de próteses de membros superiores, com ênfase no público infantil.

2. Procedimentos Metodológicos

Nesta revisão, a estratégia PICO foi utilizada para definir os seguintes critérios: População (P): crianças e adolescentes; Intervenção (I): próteses de membro superior em 3D; Comparação (C): diferentes tipos de próteses; e Resultados (O): potencialidades gerais das próteses. Com base nessa estrutura, foi formulada a seguinte questão de pesquisa: “Quais são as potencialidades da prototipagem rápida de membros superiores para crianças?” Os critérios de inclusão abrangeram estudos observacionais envolvendo crianças que utilizaram ou testaram próteses de membros superiores impressas em 3D. Não foram impostos limites quanto ao idioma ou ao período de publicação, dada a natureza recente do tema na área da saúde.

Os estudos foram identificados em dezembro de 2023 através de uma busca em diversas bases de dados acadêmicas, incluindo BVS (Biblioteca Virtual em Saúde), LILACS (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde), PubMed, SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), EMBASE e *Web of Science*. A busca foi realizada via rede da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) da Universidade Federal de Goiás, que proporciona acesso ao Portal de Periódicos da CAPES por meio da Rede Nacional de Pesquisa. Para a pesquisa, foram utilizados termos combinados com operadores booleanos “AND” e “OR”, seguindo a estratégia de pesquisa a seguir, em todas as buscas:

(“artificial limbs” OR “prostheses” OR “prosthetics” OR “prosthesis”) AND (“printing” OR “three-dimensional” OR “computer-aided design”) OR (“rapid prototyping” OR “additive manufacturing” OR “computer-aided drafting”

OR "computer-aided manufacturing" OR "three-dimensional design" OR "three-dimensional" OR "3D" OR "printer") AND ("hand" OR "hands" OR "arm" OR "arms" OR "upper limb" OR "upper limbs") AND ("child" OR "children" OR "pediatrics" OR "pediatric").

2.1 Triagem de leitura e avaliação da qualidade metodológica

O processo de triagem da literatura foi conduzido de maneira sistemática para garantir a seleção de estudos relevantes e de alta qualidade. Primeiramente, foram excluídos os artigos que não atendiam aos critérios de inclusão com base na análise dos títulos e resumos. Em seguida, a leitura completa dos textos permitiu a exclusão adicional de estudos que não apresentavam uma relação substancial com a temática em questão. A avaliação da qualidade metodológica dos estudos selecionados foi realizada utilizando as ferramentas de checklist do *Joanna Briggs Institute (JBI)*, fundamental para assegurar que os resultados da revisão sejam baseados em evidências confiáveis e de alta qualidade.

3. Resultados

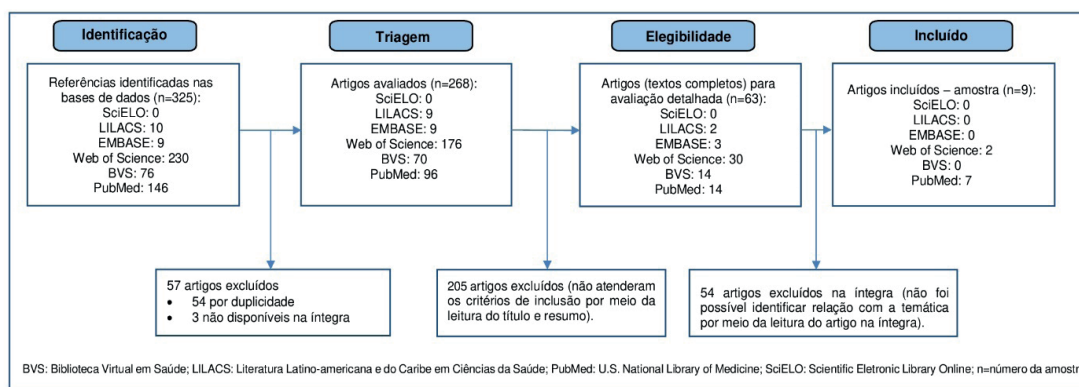


Figura 1 – Fluxograma. Fonte: elaborada pelos autores.

A busca nas bases de dados selecionadas retornou 325 artigos para triagem, dentre os quais 57 foram removidos como duplicados/não disponíveis na íntegra, 205 foram excluídos com base no título e no resumo e 54 foram excluídos após a leitura do texto completo. Por fim, nove artigos foram incluídos para análise nesta revisão (Figura 1).

Os artigos foram analisados por meio das ferramentas de checklist do *Joanna Briggs Institute (JBI)* e foi considerado de baixa qualidade aquele artigo com a porcentagem de "Sim" abaixo de 60%, qualidade moderada de 60-70% e alta qualidade acima de 70%. Apenas os estudos que atendiam a um padrão elevado de rigor e confiabilidade, foram considerados para a inclusão. Dessa maneira, os artigos classificados como de alta qualidade, que apresentaram robustez significativa nos critérios metodológicos estabelecidos, foram mantidos na revisão. Na Tabela 1, está descrita a porcentagem que cada relato de caso/estudo de caso alcançou no "Checklist for Case Reports", sendo que os cinco estudos foram classificados como de alta qualidade, com uma porcentagem significativa de respostas "Sim" em relação aos critérios avaliados. Em decorrência dessa avaliação positiva, todos os cinco artigos foram mantidos.

Questão	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	%	Qualidade
(ZUNIGA <i>et al.</i> , 2017)	N	N	S	S	S	S	S	S	75%	Alta
(XU <i>et al.</i>)	S	S	S	S	S	S	S	S	100%	Alta
(ANDERSON; SCHANANDORE)	N	S	S	S	S	S	S	S	87,5%	Alta
(THOMAS; MUÑECAS)	N	S	S	S	S	S	S	S	87,5%	Alta
(CCORIMANYA <i>et al.</i>)	N	S	S	S	S	S	S	S	87,5%	Alta

Tabela 1 - Dados do checklist para relatos/estudos de caso. D1: As características demográficas do paciente foram claramente descritas?; D2: A história do paciente foi claramente descrita e apresentada como uma linha do tempo?; D3: A condição clínica atual do paciente na apresentação foi claramente descrita?; D4: Os testes de diagnóstico ou métodos de avaliação e os resultados foram claramente descritos? D5: A(s) intervenção(ões) ou procedimento(s) de tratamento foram claramente descritas?; D6: O quadro clínico pós-intervenção foi claramente descrito?; D7: Os eventos adversos (danos) ou imprevistos foram identificados e descritos?; D8: O relato de caso fornece lições para levar?; S: Sim; N: Não. Fonte: elaborada pelos autores.

Na Tabela 2, está descrita a porcentagem que cada série de casos alcançou no “*Checklist for Case Series*”, sendo que os 3 artigos analisados foram classificados como de alta qualidade. Como resultado dessa avaliação, todos os cinco artigos foram incluídos na revisão.

Questão	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	%	Qualidade
(ZUNIGA <i>et al.</i> , 2015)	S	S	S	S	S	N	N	S	S	S	80%	Alta
(ZUNIGA <i>et al.</i> , 2019)	S	S	S	S	S	N	N	S	S	S	80%	Alta
(SIMS <i>et al.</i>)	S	S	S	S	S	N	N	S	S	N	70%	Alta

Tabela 2 – Dados do checklist para série de casos. D1: Houve critérios claros para inclusão na série de casos?; D2: A condição foi medida de forma padronizada e confiável para todos os participantes incluídos na série de casos?; D3: Foram utilizados métodos válidos para identificação da condição dos participantes incluídos na série de casos?; D4: A série de casos teve inclusão consecutiva de participantes?; D5: A série de casos teve inclusão completa dos participantes?; D6: Houve relatórios claros sobre a demografia dos participantes do estudo?; D7: Houve relato claro das informações clínicas dos participantes?; D8: Os resultados ou resultados de acompanhamento dos casos foram claramente relatados?; D9: Houve relato claro das informações demográficas do(s) local(is)/clínica(s) apresentado(s)?; D10: A análise estatística foi apropriada?; S: Sim; N: Não. Fonte: elaborada pelos autores.

A análise do artigo intitulado “Adequação das mãos protéticas impressas em 3D abertamente acessíveis para crianças feridas de guerra” não foi realizada pelas ferramentas do *Joanna Briggs Institute*, pois os checklists disponíveis não eram aplicáveis a esse tipo específico de estudo.

Os dados fundamentais dos estudos incluídos estão detalhados no Quadro 1, apresentados em ordem cronológica, assim como nas tabelas subsequentes. Os artigos analisados foram publicados entre 2015 e 2023 e conduzidos em diversos locais, incluindo Estados Unidos da América, China, Inglaterra, Catar e Japão.

Autor	Ano	Local	TÍTULO
(ZUNIGA <i>et al.</i>)	2015	EUA	Besta ciborgue: uma mão protética impressa em 3D de baixo custo para crianças com diferenças nos membros superiores.
(XU <i>et al.</i>)	2017	China	Prótese de membro superior com impressão tridimensional para criança com amputação traumática de punho direito.
(SIMS <i>et al.</i>)	2017	Inglaterra	Projeto participativo de próteses de membros superiores pediátricos: métodos qualitativos e prototipagem.
(ZUNIGA <i>et al.</i>)	2017	EUA	O desenvolvimento de uma prótese tridimensional impressa de baixo custo para ombro, braço e mão para crianças.
(ZUNIGA <i>et al.</i>)	2019	EUA	Mudanças funcionais através do uso de próteses transicionais impressas em 3D em crianças.
(ANDERSON; SCHANANDORE)	2021	EUA	Usando uma prótese impressa em 3D para melhorar a participação de uma jovem ginasta.
(CABIBIHAN <i>et al.</i>)	2021	Catar	Adequação das mãos protéticas impressas em 3D abertamente acessíveis para crianças feridas de guerra.
(THOMAS; MUÑECAS)	2022	EUA	Um protocolo de reabilitação para o uso de uma mão protética impressa em 3D em pediatria: relato de caso.
(CCORIMANYA <i>et al.</i>)	2023	Japão	Uma prótese de mão impressa em 3D personalizada para intervenção precoce em crianças com deficiência congênita abaixo do cotovelo: estudo de caso de design centrado no usuário.

Fonte: elaborada pelos autores.

As características básicas dos artigos incluídos foram reunidas no Quadro 2, no qual os tipos de estudos mais encontrados foram relato de casos e série de casos, a população do estudo teve a idade variando de 3-16 anos e o tipo de prótese foi diverso, estando presentes próteses de mão e de ombro e próteses mecânicas e mioelétricas.

Autor	Ano	Desenho do estudo	Populações do estudo	Tipo de dispositivo
(ZUNIGA <i>et al.</i>)	2015	Série de casos	Onze crianças de 3 a 16 anos com reduções de membros superiores.	Prótese "Cyborg Beast"
(XU <i>et al.</i>)	2017	Relato de caso	Paciente de 8 anos amputado traumático do punho direito.	Prótese mecânica ("Raptor Reloaded")

(SIMS <i>et al.</i>)	2017	Série de casos	Trinta e quatro pessoas, incluindo oito crianças e adolescentes de 8 a 15 anos.	Prótese de ombro impressa em 3D
(ZUNIGA <i>et al.</i>)	2017	Relato de caso	Paciente de 7 anos.	Prótese de ombro impressa em 3D
(ZUNIGA <i>et al.</i>)	2019	Série de casos	Onze crianças de 3 a 15 anos de idade com reduções de membros superiores.	Prótese “Cyborg Beast 2”
(ANDERSON; SCHANANDORE)	2021	Relato de caso	Paciente de 9 anos com deficiência congênita na mão esquerda.	Prótese de mão (“Talon”)
(CABIBIHAN <i>et al.</i>)	2021	-	Comparação entre 6 mãos protéticas para crianças (até 18 anos).	Próteses mecânicas
(THOMAS; MUÑECAS)	2022	Relato de caso	Paciente de 6 anos de idade com deficiência congênita transradial direita do membro superior.	Prótese mecânica
(CCORIMANYA <i>et al.</i>)	2023	Estudo de caso	Paciente de 4 anos com deficiência congênita abaixo do cotovelo direito.	Prótese mioelétrica

Fonte: elaborada pelos autores.

De maneira geral, o Quadro 3 fornece uma visão abrangente sobre os objetivos, principais resultados, limitações e sugestões de cada estudo incluído. Os principais objetivos da utilização da impressão 3D para a confecção de próteses foram explorar a eficácia dessas próteses em crianças. A maioria dos estudos revelou melhorias significativas nos parâmetros avaliados. No entanto, cada estudo apresentou diferentes limitações, e, quanto às sugestões propostas, houve um consenso quanto à necessidade de mais pesquisas para aprofundar o entendimento sobre o tema.

Autor (ANO)	Objetivos	Principais resultados	Limitações	Sugestões
(ZUNIGA <i>et al.</i> , 2015)	Descrever uma mão protética impressa em 3D para crianças com reduções de membros superiores; Propor uma metodologia de adaptação de prótese que possa ser realizada à distância.	Não houve diferenças médias entre as medidas antropométricas tiradas diretamente dos membros superiores dos sujeitos e aquelas extraídas de fotografias.	-	Estudos adicionais devem examinar a funcionalidade, validade, durabilidade, benefícios e taxa de rejeição.
(XU <i>et al.</i> , 2017)	Avaliar a função da prótese após treinamento de reabilitação protética.	Tanto a pontuação de espontaneidade UNB quanto a pontuação de habilidade UNB do dispositivo melhoraram significativamente após o treinamento e reabilitação programados, indicando a boa funcionalidade desta prótese.	A prótese ainda funcionava de maneira inadequada em certos movimentos finos ou bimanuais.	Mais estudos são necessários para avaliar as potenciais desvantagens das próteses em 3D em comparação com as convencionais feitas sob medida. Recepção, função e qualidade de vida entre diferentes desenhos precisam ser exploradas.

(SIMS <i>et al.</i> , 2017)	Compreender a opinião de crianças com diferença nos membros superiores, seus pais e profissionais sobre a utilidade dos dispositivos protéticos de membros superiores e como eles poderiam ser melhorados; Desenvolver dispositivos por meio de técnicas qualitativas e prototipagem rápida.	Foram desenvolvidos protótipos com base no feedback de áreas que careciam de melhora.	-	O desenvolvimento futuro de dispositivos precisa se concentrar na facilidade de uso, versatilidade, aparência e segurança.
(ZUNIGA <i>et al.</i> , 2017)	Descrever uma prótese mecânica de ombro impressa tridimensional de baixo custo para realizar atividades bimanuais e unilaterais com preensão funcional.	Correção parcial do desvio da coluna vertebral do paciente; Melhora no equilíbrio e no desempenho de algumas atividades funcionais bimanuais; Não se mostrou eficaz para atividades unilaterais, devido à baixa força de preensão.	A baixa força de preensão e a baixa durabilidade do dispositivo protético.	É necessário incluir um certificado de protésista ou de especialista em membros superiores em uma equipe de pesquisa sobre o tema.
(ZUNIGA <i>et al.</i> , 2019)	Identificar alterações funcionais e de força após o uso de próteses transicionais impressas em 3D por várias semanas em crianças com diferenças nos membros superiores.	Houve uma melhora significativa na mão para função, mas não para força.	Falta de um grupo de controle de mesma idade; Pequeno número de crianças participantes do estudo; Restrições das próteses em 3D;	Examinar a aplicação clínica de próteses em 3D não apenas para aumentar a função, mas como parte do processo de reabilitação protética.
(ANDERSON; SCHANANDORE, 2021)	Investigar a aplicação de uma mão protética impressa em 3D para melhorar a participação, confiança e satisfação de uma criança nas aulas de ginástica, especificamente, habilidades relacionadas à barra horizontal.	Houve melhora significativa na participação, confiança e satisfação da criança após a protetização.	-	Deve ser realizada uma análise detalhada da durabilidade e resistência da prótese de mão à medida que o paciente evolui de atividades iniciais para avançadas.
(CABIBIHAN <i>et al.</i> , 2021)	Avaliar se as mãos protéticas impressas em 3D, de acesso aberto e alimentadas pelo corpo, são adequadas para o uso de crianças com falta de mãos em ambientes com poucos recursos.	Os dedos da mão impressa em 3D são capazes de flexão e extensão em um desenho de palma plana; A expectativa média de vida foi de 4 anos sob atividades diárias leves;	Não abordou a aparência da prótese.	Trabalhos futuros poderão abordar o ajuste de uma luva e sua coloração.
(THOMAS; MUÑECAS, 2022)	Avaliar os resultados da utilização de um dispositivo protético 3D com um programa de exercícios domiciliares.	Foram observadas melhorias na amplitude de movimento, força, coordenação e integração sensorial.	Durabilidade e os fatores ambientais que afetam a mão impressa em 3D.	Novos estudos para investigar as experiências de uso de um dispositivo impresso em 3D antes do uso protético.

(CCORIMANYA *et al.*, 2023)

Investigar os requisitos de design de uma prótese para crianças muito pequenas com deficiência congênita abaixo do cotovelo usando uma abordagem de design centrado no usuário.

A prótese deve ser uma prótese mioelétrica simples que execute tarefas simples de preensão, ajude a mão intacta em tarefas com as duas mãos, ajude a criança no treinamento e sirva como prótese transitória.

Os critérios de desenho descobertos foram confirmados com apenas uma criança.

Novos estudos para testagem dos designers.

Fonte: elaborado pelos autores.

4. Discussões

A literatura sobre impressão tridimensional tem se expandido rapidamente: todos os artigos selecionados foram publicados nos últimos 8 anos. No entanto, as revisões sistemáticas anteriores geralmente têm se concentrado em pacientes adultos, deixando limitada a análise sobre próteses voltadas para o público infantil. Ainda nesse sentido, foi necessário utilizar 25 palavras chave para que fosse abrangido um número maior de artigos sobre o tema, sendo que 11 dessas palavras foram utilizadas como sinônimo de impressão 3D, o que indica que não há uma linguagem comum para o termo. Além disso, essa revisão destacou a tendência do alinhamento com estudos observacionais descritivos, precisamente estudos/relatos de casos e séries de casos em oposição a estudos experimentais, como ensaios clínicos randomizados, que possuem alto nível de evidência.

Os artigos encontrados na presente pesquisa aplicaram próteses impressas em 3D em indivíduos com deficiência adquirida ou congênita de membros. Das 9 literaturas revisadas, 3 relatam especificamente de pacientes com deficiência congênita, outros 3 têm a grande maioria dos participantes com deficiência congênita (apesar de ter uma minoria com deficiência adquirida), 2 focam em perdas traumáticas e 1 expõe ambas as perdas (congênita e adquirida). Desses, apenas 1 artigo tem como foco o nível de amputação desarticulação de ombro, outros 3 citam amputação transradial, 2 têm como destaque amputação parcial de mão, 1 ambas (parcial de mão e transradial) e apenas 2 sobre desarticulação de punho, sendo que um deles também inclui parcial de mão. Ou seja, no geral, deu-se maior atenção a pacientes deficientes congênitos e aos níveis transradial e parcial de mão.

Pode-se argumentar que o uso da tecnologia de impressão 3D na fabricação de próteses para crianças oferece muitos benefícios, especialmente devido à necessidade de trocas protéticas mais frequentes nesse público, que está em fase de crescimento. Além da redução de custo, essa inovação permite uma redução de resíduos e desperdício, pois o material usado é adicionado em camadas de forma precisa, ao contrário de métodos tradicionais de fabricação em que se retira material para confecção do produto. Além disso, a maioria dos processos convencionais de produção de próteses utiliza materiais altamente poluentes, como metais, silicone e gesso. Nesse sentido, o recurso tecnológico abordado nas pesquisas analisadas apresenta vantagens tanto sociais quanto ambientais.

5. Considerações Finais

Em resumo, as pesquisas analisadas neste estudo ressaltam o crescente potencial da manufatura aditiva, especialmente a impressão 3D, na produção de próteses para membros superiores em crianças. No entanto, é válido salientar que várias das conclusões delineadas neste estudo corroboram descobertas previamente estabelecidas em pesquisas anteriores.

Ao utilizar uma abordagem rigorosa de revisão sistemática, incluindo a busca em múltiplas bases de dados e a análise de estudos que abordam tanto a funcionalidade quanto os aspectos de estética das próteses, pode-se obter uma visão abrangente do estado atual do campo. Dessa forma, destacam-se as melhorias no desempenho das atividades diárias e na adaptação das crianças às próteses.

Observa-se também uma indicação de aprimoramento na estética dos dispositivos, acompanhada pelo aumento da segurança e pela exploração de novos designs, visando ampliar as funcionalidades das próteses.

A utilização de modelos escaneados potencializa a manufatura aditiva, ampliando as possibilidades de atuação, onde a flexibilidade e a personalização na produção abrem caminho para uma integração mais eficaz com a área médica e os processos de design. Por fim, considera-se que o método de pesquisa adotado foi eficaz em alcançar os objetivos propostos, fornecendo evidências sólidas que podem contribuir para o avanço contínuo da área, identificando lacunas e oportunidades para o desenvolvimento de próteses mais eficazes e estéticas para crianças.

Agradecimentos

Este trabalho foi possível graças à oportunidade de participação dos autores no Programa de Iniciação à Pesquisa (PIP) da Universidade Federal de Goiás (UFG), além do fomento fornecido, durante a pesquisa, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela UFG.

Referências

ANDERSON, B; SCHANANDORE, J.V. Using a 3D-Printed Prosthetic to Improve Participation in a Young Gymnast. **Pediatric Physical Therapy**, v. 33, n. 1. p. E1-E6, jan. 2021.

BARBIN, I. C. C. **Próteses de membros superiores e inferiores: indicações e confecção**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ares.unasus.gov.br/acervo/html/ARES/24252/1/Pr%C3%B3teses%20de%20membros%20superiores%20e%20inferiores%20indica%C3%A7%C3%B5es%20e%20confec%C3%A7%C3%A3o.pdf>>.

BRASIL. Ministério da Educação. **III Seminário Nacional de Formação de Gestores e Educadores** — Educação Inclusiva: direito à diversidade. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, 2006. p. 146.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Técnico em órteses e próteses**. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde, Departamento de Gestão do Trabalho na Saúde: Brasília, 2014. p. 318.

CABIBIHAN, J-J.; *et al.* Suitability of the Openly Accessible 3D Printed Prosthetic Hands for War-Wounded Children. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 7, p.1-14, jan. 2021.

CARVALHO, J. A. **Órteses um Recurso Terapêutico Complementar**. São. Paulo: Manole, 2006.

CASTANEDA, L. Próteses de membros superiores e inferiores: indicações e confecção. *In*: UNIVERSIDADE ABERTA DO SUS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. **Atenção à pessoa com deficiência: transtornos do espectro do autismo, Síndrome de Down, pessoa idosa com deficiência, pessoa amputada e órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção**. Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção. São Luís: UNA-SUS; UFMA, 2021.

CCORIMANYA, L.; *et al.* A Personalized 3D-Printed Hand Prosthesis for Early Intervention in Children With Congenital Below-Elbow Deficiency: User-Centered Design Case Study. **IEEE Access**, vol. 11, p. 1-17, maio 2023.

FRANCOISSE, C.A., *et al.* Three-dimensional printing in medicine: a systematic review of pediatric applications. **Pediatric Research**, v.89, p. 415-425, jun. 2020.

GIACONI, C. *et al.* Experiências do uso de ortoprótese de mão impressa em 3D (Cyborg Beast) em adolescentes com amputação congênita de mão e seus cuidadores principais: Um estudo de casos. **Revista chilena de pediatria**, Santiago, v. 90, n. 5, p. 539-544, oct. 2019. Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062019000500539-&lng=es&nrm-iso. Acesso em: 10 ago. 2023.

GRETSCH, K. F.; *et al.* Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. **Prosthetics and Orthotics International**, v. 40, n. 3, p. 400-403, jun. 2016.

HUANG, T.-Y. *et al.* Biomechanical Evaluation of Three-Dimensional Printed Dynamic Hand Device for Patients With Chronic Stroke. **Journal of Biomechanics**, v. 27, n. 6, p. 1246—1252, jun. 2019.

SIMS, T.; *et al.* Participatory Design Of Pediatric Upper Limb Prostheses: Qualitative Methods And Prototyping. **International Journal of Technology Assessment in Health Care**, v. 33, n. 6, p. 629-637, set. 2017.

SMITH, D. G.; CAMPBELL, K. M. **Próteses para crianças com diferenças de membros**. Amputee Coalition, 2009. p. 1-5. Disponível em: <https://www.amputee-coalition.org/resources/prostheses-for-children/>.

STOCCO, T.D; RODRIGUES, R.A. Utilização de membros protéticos fabricados a partir de impressão 3D para amputados. **Archives of Health Sciences**, São José do Rio Preto - SP, v. 27, n.1, p. 65-69, dez. 2020.

THOMAS, A.; MUÑECAS, T. A rehabilitation protocol for the use of a 3D-printed prosthetic hand in pediatrics: A case report. **Journal of Hand Therapy**. Miami, FL, v. 15, n. 24, p.1-6, nov. 2022.

XU, G. M. D; *et al.* Three-dimensional-printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist: A case report. **Medicine**, v. 96, n. 52, p.1-5, dez. 2017.

ZUNIGA, J.; *et al.* Cyborg beast: A low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. **BioMedCentral Research Notes**, v. 8, n. 10, p. 1-8, jan. 2015.

ZUNIGA, J.M.; *et al.* The development of a low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses for children. **Prosthetics and Orthotics International**, v. 17, n. 2, p. 205-209, abr. 2017.

ZUNIGA, J.M.; *et al.*; Functional changes through the usage of 3D-printed transitional prostheses in children. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v.41, n. 1, p. 68-74, 2019.

TRANS VERSO

02 Ferramentas para potencializar a participação infantil em processos de planejamento, desenho urbano e projeto de espaços livres urbanos

recebido em 24/08/2024
aprovado em 24/09/2024

Ferramentas para potencializar a participação infantil em processos de planejamento, desenho urbano e projeto de espaços livres urbanos

Paula Barros

paula-barros@ufmg.br
Universidade Federal de Minas Gerais

Ana Clara Moura

anaclara@arq.ufmg.br
Universidade Federal de Minas Gerais

Anna Pires Diniz

annapiresdiniz@gmail.com
Universidade Federal de Minas Gerais

Marcela Rodrigues de Almeida Sanches

marcelasanches@ufmg.br
Universidade Federal de Minas Gerais

Mariana Protázio Santos

protaziomariana@gmail.com
Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO (PT): A garantia do direito das crianças à cidade pressupõe assegurar a esta parcela da população tanto oportunidades de fruição cotidiana de espaços livres de qualidade quanto de participação em processos de planejamento, desenho urbano e projeto destes espaços. Este estudo exploratório objetivou testar o potencial de uma variedade de ferramentas—entrevistas não estruturadas, mapeamento voluntariado *VGI* (*Volunteered Geographic Information*), desenho-elicitação, foto-elicitação e Análise de Multicritérios por Pesos de Evidência—na potencialização da participação infantil em processos de transformação urbana. Crianças, entre 6 e 12 anos (incompletos), que fazem uso rotineiro dos espaços livres que estruturam a região central de Belo Horizonte participaram desta pesquisa. As ferramentas testadas se mostraram suficientemente robustas para instrumentalizar processos dialógicos que visem promover a mobilidade infantil independente a partir da transformação de espaços abertos com e para as crianças.

Palavras-chave: *Mobilidade Infantil Independente; Pesquisa Qualitativa; Percepção Ambiental; Tecnologia de Geoinformação.*

ABSTRACT (ENG): *Guaranteeing children's right to the city involves ensuring that this population has access to high-quality urban open spaces and actively participates in urban planning and design processes. This study aims to assess the effectiveness of various tools—unstructured interviews, Volunteered Geographic Information (VGI) mapping, drawing-elicitation, photo-elicitation, and Multi-Criteria Analysis by Weights of Evidence—in promoting children's meaningful participation in such processes. Children aged between 6 and 12 years old who regularly use urban open spaces in the central region of Belo Horizonte took part in this research. The tested tools proved to be sufficiently robust to put into practice dialogical processes to promote children's independent mobility by enhancing urban open spaces with and for children.*

Keywords: *Children's Independent Mobility; Qualitative Research; Environmental Perception; Geoinformation Technology.*

1. Introdução

A garantia do direito da criança à cidade pressupõe a oferta de espaços livres de qualidade. Explorar, socializar, circular e brincar em espaços livres sem a supervisão de adultos—mobilidade infantil independente—é essencial para o pleno desenvolvimento físico, cognitivo, comunicacional, analítico e social das crianças (Schoeppe; Duncan; Badland, 2013). Espaços livres urbanos, para os propósitos desta pesquisa, compreendem todo e qualquer espaço externo, como ruas, praças, jardins, canteiros e parques. Estes espaços são constituídos de aspectos físico-espaciais (e.g., fachadas opacas, carros), socioculturais (e.g., crianças) e naturais (e.g., plantas, insetos) em constante interação. Aqui, interessa-nos especialmente os espaços livres urbanos de domínio público.

No contexto mundial, tem havido uma redução da mobilidade infantil independente sendo que o Brasil apresenta um dos menores índices no mundo (Shaw; Bicket; Elliott; Fagan-Watson; Mocca; Hillman, 2015). O declínio da mobilidade infantil independente nos grandes centros urbanos nas últimas décadas tem sido associado ao aumento da obesidade infantil, do sentimento de solidão e medo, e da carrodependência (Shaw; Bicket; Elliott; Fagan-Watson; Mocca; Hillman, 2015). O aumento da dependência do automóvel na mobilidade urbana explica as crescentes taxas de colisões, casualidades e poluição ambiental (Barros *et al.*, 2024). Partindo da premissa que a qualidade dos espaços livres ofertados às crianças é um fator, dentre outros, que impacta na mobilidade infantil independente, o incremento da qualidade destes espaços pode contribuir para a reversão deste ciclo.

Para quê e para quem os espaços livres urbanos de domínio público vêm sendo pensados? O modo como a cidade vem sendo pensada condiciona o grau de autonomia das crianças e outros grupos sociais em situação de vulnerabilidade (e.g., idosos). Muitos os espaços livres disponíveis nas regiões centrais das grandes cidades brasileiras obedecem a uma lógica masculina, elitista e adultocêntrica. O direito da criança à cidade também pressupõe o direito de participar dos processos de transformação urbana, incluindo-se aí processos de planejamento, desenho urbano e projeto dos espaços livres.

Na contemporaneidade, o desenvolvimento, teste e validação de ferramentas que venham a oportunizar a participação infantil em processos de transformação dos seus territórios é de suma importância na promoção do direito das crianças à cidade. Neste contexto de possibilidades e desafios, foi realizada uma pesquisa exploratória no contexto da região central de Belo Horizonte com crianças entre 6 e 12 anos (incompletos) com o propósito de testar ferramentas que venham a instrumentalizar processos dialógicos que visem promover a mobilidade infantil independente a partir da transformação de espaços livres com e para as crianças.

2. O conceito de *affordances*

A promoção do direito das crianças à cidade pressupõe a promoção da mobilidade infantil independente. A apropriação de modo mais autônomo de espaços livres de qualidade é de fundamental importância para o pleno desenvolvimento físico, psicológico, cognitivo e social da criança (Waygood; Friman; Olsson, 2017). Oportunidades para explorar os espaços livres de domínio público aumentam a sua confiança, autonomia, habilidades sociais, e capacidade para se locomover em seus arredores, fortalecendo os seus laços e familiaridade com a sua vizinhança (Kantomaa; Tammelin;

Demakakos, 2010). Estudos mostram que as crianças que têm permissão para explorar os seus ambientes com mais autonomia, comparativamente, passam mais tempo longe das telas, brincando em espaços livres com seus amigos, e praticam mais atividades físicas (Schoeppe; Duncan; Badland, 2013). É sabido que espaços livres associados a experiências positivas tendem a oportunizar apropriações mais livres pelas crianças (Appleyard, 2022). Assim, a reduzida oferta de espaços livres de qualidade inibe a mobilidade infantil independente.

Sob a ótica da psicologia ambiental, as inter-relações pessoa-ambiente são biunívocas: à medida que a pessoa capta informações ambientais através do seu aparato sensorial (percepção) e as processa mentalmente (cognição), oportunidades de ação emergem (Gibson, 1979). O conceito de *affordance* explica por que alguns espaços livres abertos são associados a um maior número de experiências positivas do que outros. *Affordances* são propriedades perceptíveis que indicam as oportunidades de ação em um dado ambiente (Kyttä; Broberg; Kahila, 2012).

Heft propõe a distinção das *affordances* em dois níveis: *affordances* potenciais e *affordances* atualizadas (Heft, 1998). As *affordances* potenciais são incalculáveis e estão presentes no ambiente, independentemente de serem (ou não) percebidas por uma pessoa em uma situação específica (Heft, 1998). A percepção das *affordances* potenciais dependerá das características e interesses pessoais, além do contexto sociocultural em questão. *Affordances* potenciais, uma vez percebidas, podem ser atualizadas (ou não) na medida em que são utilizadas (ou não) (Kyttä; Broberg; Kahila, 2012). Os adultos, frequentemente, ensinam as crianças a atualizar *affordances* potenciais percebidas (e.g., pedalar, conversar) mas em certas ocasiões restringem a atualização destas (e.g., pedalar até a escola, conversar com estranhos). Ao observar outras pessoas, a criança também aprende sobre a atualização de *affordances* (e.g., escorregar).

As *affordances* podem ser de três tipos: funcionais, sociais e emocionais. As *affordances* funcionais (e.g., caminhar, brincar, descansar, conversar) dizem respeito ao que é possível fazer (ou não) em um determinado ambiente (Broberg; Kyttä; Fagerholm, 2013). As *affordances* sociais (e.g., brigar, brincar) estão relacionadas às oportunidades (ou restrições) de sociabilidade (Broberg; Kyttä; Fagerholm, 2013). As *affordances* emocionais dizem respeito às reações emocionais (e.g., prazer, desprazer) proporcionadas por um ambiente (Roe; Aspinall, 2011). As *affordances* emocionais impactarão na atualização (ou não) das *affordances* funcionais e sociais percebidas (Roe; Aspinall, 2011). As crianças se sentirão mais impelidas a atualizarem mais *affordances* funcionais (e.g., escorregar) e sociais (e.g., conversar com outras crianças) em ambientes urbanos abertos associados a *affordances* emocionais positivas (e.g., sensação de bem-estar). A provisão de um sistema de espaços livres urbanos de qualidade que ofereçam uma grande gama de oportunidades para as crianças atualizarem um rico conjunto de *affordances* positivas contribui, portanto, para a promoção da mobilidade infantil independente e garantia do seu direito à cidade.

3. Participação infantil

O direito das crianças à cidade também pressupõe o direito de participar de processos de planejamento, desenho urbano e projeto dos seus espaços livres de domínio público. No Brasil, desde 1988, com a nova Constituição Federal, as crianças são reconhecidas enquanto sujeitos de direitos. A Convenção

sobre os Direitos das Crianças, adotado pela Organização das Nações Unidas em 1989, em seu artigo 13, estabelece que toda a criança tem o direito de expressar suas opiniões (ONU, 1989).

1. A criança deve ter o direito de expressar-se livremente. Esse direito deve incluir a liberdade de procurar, receber e divulgar informações e ideias de todo tipo, independentemente de fronteiras, seja verbalmente, por escrito ou por meio impresso, por meio das artes ou por qualquer outro meio escolhido pela criança.

A Convenção e o Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA) (Brasil, 1990), marco legal e regulatório dos direitos humanos de crianças e adolescentes no Brasil, estão em sintonia (Brasil, 1990). Com o ECA, consolida-se a concepção da criança cidadã: habitante da cidade que tem direito e capacidade de participar de processos que afetarão a qualidade das suas vidas (Brasil, 1990).

Na contemporaneidade, o desenvolvimento, teste e validação de ferramentas que venham a oportunizar a participação infantil em processos de transformação dos seus territórios é de suma importância na promoção do direito das crianças à cidade. Neste contexto de possibilidades e desafios, este estudo testa com crianças o potencial de uma variedade de ferramentas na instrumentalização de processos de planejamento, desenho urbano e projeto que visem promover a mobilidade infantil independente a partir da transformação de espaços livres com e para as crianças.

4. Procedimentos Metodológicos

4.1 Estudo de caso

A abordagem teórico-metodológica adotada parte da premissa que as crianças são sujeitos competentes e capazes de emitir críticas relevantes a respeito dos ambientes urbanos abertos que vivenciam cotidianamente. Assim, a presente investigação contou com a participação de crianças que vivenciam cotidianamente espaços livres de domínio público que estruturam a região central da cidade de Belo Horizonte, mais precisamente a área circunscrita à Avenida do Contorno (Figura 1). Como em outros centros urbanos do Brasil, esta área tem sido palco de processos de demolição, renovação, verticalização, densificação, saturação da infraestrutura viária e esvaziamento populacional do seu hipercentro. Ainda assim, a área em estudo tem grande valor histórico, cultural, econômico e simbólico para a população de Belo Horizonte.

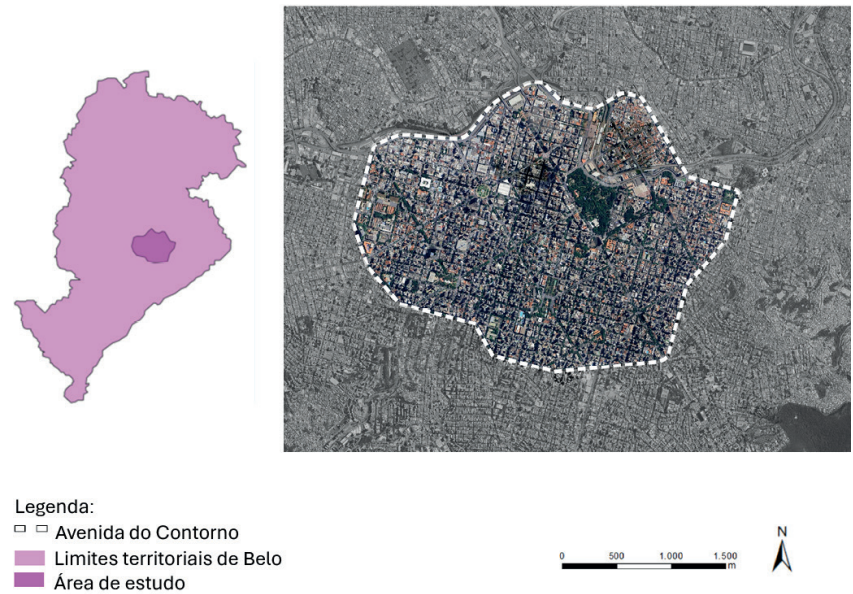


Figura 1 – Limites do município de Belo Horizonte e da área em estudo. Fonte: elaborado pelas autoras.

4.1.1 Participantes

Esta pesquisa contou com a participação de crianças entre 6 e 12 anos (incompletos) (Quadro 1). Resultados de estudos prévios que verificaram um declínio significativo da mobilidade infantil independente concedida a esta parcela etária da população. Fez-se uso da amostragem por conveniência, técnica de amostragem não probabilística e não aleatória, e bola de neve—técnica que funciona a partir da indicação por parte de algum membro da comunidade de outro(s), e assim, sucessivamente.

Participantes	Idade	Sexo
CAIOEL	10 anos	Feminino
CYCOCA	10 anos	Feminino
ILIOIS	6 anos	Feminino
PAMOIS	10 anos	Feminino
THMAIS	10 anos	Feminino
XXYYGA	9 anos	Feminino
XXYYLA	9 anos	Feminino

Quadro 1 – Perfil dos participantes. Fonte: elaborado pelas autoras.

4.2 Ferramentas de escuta

Este estudo testa o potencial de uma série de métodos lúdicos indicados para capturar as percepções, emoções e interpretações acerca de uma variedade de fenômenos—mapeamento voluntariado *VGI* (*Volunteered Geographic Information*), entrevistas não estruturadas, desenho e foto-elicitación—enquanto ferramentas de escuta sensível das crianças. Estes métodos vêm sendo cada vez mais utilizados em pesquisas com crianças por favorecerem o diálogo e a criação de uma atmosfera acolhedora e lúdica (Farias; Müller, 2017). Aqui, as crianças tiveram oportunidade de manifestar as suas críticas acerca

dos espaços livres urbanos de domínio público que compõem os seus arredores residenciais através de desenhos, fotos, depoimentos e mapeamentos.

O mapeamento voluntariado, conhecido pelo acrônimo VGI, é um recurso tecnológico baseado na web que pode ser usado de modo passivo ou ativo. Ele é passivo quando são capturadas informações sobre comportamentos e valores na mídia social, sem a necessária participação direta dos investigados. E ele é ativo quando as pessoas atuam de modo consciente, registrando informações georreferenciadas sobre perguntas colocadas, que podem ser associadas a tabelas para registro de variáveis de interesse e imagens ilustrativas da discussão (Davis, 2016; Goodchild, 2007). Entrevistas não estruturadas são constituídas por perguntas espontâneas que direcionam ao tema desejado sem um roteiro fixo de forma a deixar as crianças mais livres e confortáveis para respondê-las. O uso de fotografias como método de geração de dados oportuniza divertimento para as crianças e pode diminuir o poder de influência de outras crianças nas imagens registradas (Punch, 2002). Os desenhos, para Vygotsky (2007), são documentos que representam o que as crianças conhecem, não necessariamente o que veem. Compreender o que as crianças pensam sobre seus desenhos é tão importante quanto o próprio desenho (Driessnack, 2005). A foto-elicitação é uma entrevista pautada em fotografias (Harper, 2002). Barker e Weller (2003) destacam a importância de criar espaços de escuta para que as crianças expliquem as razões e significados de suas fotografias. O desenho-elicitação difere da foto-elicitação por se ancorar em desenhos e não em fotos.

A análise temática foi escolhida para análise dos dados gerados pelas crianças por ser um método flexível e coerente com a abordagem qualitativa (Braun e Clark, 2021). Este método compreende seis passos: (1) familiarização com os dados, (2) geração de códigos iniciais, (3) busca por temas, (4) revisão dos temas, (5) definição e nomeação dos temas, (6) escrita do relatório. A validação dos resultados se deu por meio de triangulação. A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da UFMG (CAAE 46401021.3.0000.8787).

4.3 Ferramenta de visualização

A análise multicritério é um modelo de análise espacial amplamente utilizado em geoprocessamento, pois reproduz a abordagem sistêmica para a integração e combinação de variáveis. Ela parte da definição de variáveis, entendidas como componentes principais que são capazes de caracterizar a área de estudo de acordo com os objetivos de investigação. Uma vez decomposta a realidade nas variáveis, elas são recompostas por álgebra de mapas. Para esta álgebra, é necessária a normalização das legendas dos mapas, entre valores máximos e mínimos, segundo o grau de pertinência para o motivo de investigação. É necessária também a definição de pesos de evidência, que definem a importância hierárquica de cada variável para o motivo de investigação. Definidos os pesos de cada variável e as notas de suas respectivas legendas, é aplicada a álgebra de integração (Ligmann-Zielinska e Jankowski, 2014).

No estudo de caso em específico, a lista de variáveis foi definida a partir de ampla revisão bibliográfica, identificando os parâmetros de mensuração de qualidade ou vulnerabilidade urbana mais citados pelos autores. As variáveis foram organizadas em três eixos de análise, quais sejam: (a) ambiente, (b) lugar e (c) mobilidade. O conjunto de 15 variáveis foi assim distribuído:

a) Ambiente: arborização urbana; limpeza das vias; iluminação, elementos naturais (plantas e animais); experiência multisensorial agradável (som, água, vento).

b) Lugar: fachada ativa (preferência por pequenos negócios); uso misto; espaços de recreação e amenidades; espaços de permência; designs atrativos.

c) Mobilidade: lugares seguros para caminhar e andar de bicicleta; ruas de pedestres ou ruas de velocidade reduzida; largura adequadas de passeios; pinturas e material diferenciado nos pisos; barreiras físicas entre a via e a calçada.

Realizada a lista, foram mapeadas as variáveis por aplicativos de geoprocessamento, normalizando as legendas para os valores de 1 a 10, sendo o 1 a pior e o 10 a melhor condição para a qualidade urbana. Para a definição dos pesos das variáveis, foram entrevistadas as crianças, por 3 métodos: (a) VGI — quando foram identificadas as palavras mais usadas pelas crianças para os registros; (b) Consulta Delphi, quando foi perguntando a elas sobre a hierarquia ou importância relativa de cada variável; (c) por Geodesign, quando elas criaram propostas de intervenção e foram identificados os elementos mais valorizados; (d) por oficina de desenho, quando foram computados os elementos mais representados.

O resultado foi um conjunto de quatro hierarquizações, que foram transformados em conjuntos de distribuição de pesos, que por sua vez resultaram em quatro mapas de integração de variáveis por Análise de Multicritérios. Finalmente, os quatro mapas foram também combinados por Análise de Multicritérios, com atribuição de peso de 25% para cada, de modo a se obter a classificação final para a área de estudo, espacializando dos lugares mais favoráveis aos menos favoráveis à mobilidade infantil independente.

5. Resultados

5.1 Ferramentas de escuta

Os resultados obtidos demonstraram que as entrevistas não estruturadas, mapeamento voluntariado VGI (*Volunteered Geographic Information*), desenho, foto-elicitação e em combinação com a análise temática têm potencial para funcionar como ferramentas de escuta sensível das crianças acerca dos seus territórios. A aplicação deste pacote de ferramentas revelou que a área circunscrita pela Avenida do Contorno evoca medos e afetos nas crianças.

Sobre o mapeamento voluntariado VGI, no total, foram feitos 48 registros em 30 min por cinco crianças, o que demonstra que a tarefa foi fácil para eles (Figura 2). As crianças foram autorizadas a usar a plataforma em casa, nos telefones celulares de seus pais ou em computadores, se quisessem incluir mais registros. Retirando as repetições, foram 22 registros de “eu gosto” e 14 registros de “eu não gosto”, o que é uma média de 7 registros por criança. Entre os registros de aspectos positivos, destacam-se os elementos lúdicos relacionados a cheiros, cores, temperaturas, movimentos artísticos, arborização e presença de atividade urbana como o comércio. Entre os elementos negativos destacam-se os registros relacionados a crimes, violência e insegurança ao deslocamento.

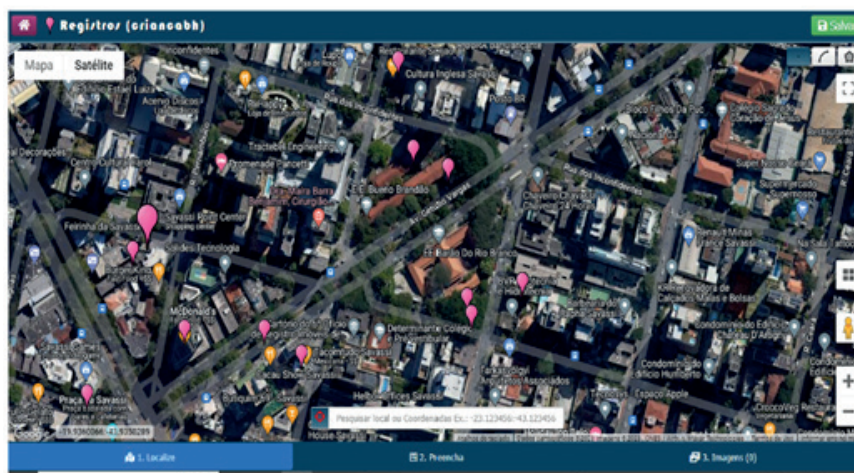


Figura 2 – Mapeamento voluntariado VGI realizado pelas crianças. Fonte: elaborado pelas autoras.

Se, por um lado, as crianças têm vivenciado os espaços livres urbanos de domínio público como lócus dos mais variados medos, por outro, *affordances* positivas vem sendo percebidas e, em algumas ocasiões, atualizadas, evocando afetos. Os depoimentos, desenhos e registros fotográficos gerados pelas crianças confirmaram a importância de diferentes aspectos físico-espaciais, socioculturais e naturais dos ambientes urbanos abertos na vivência do medo ou afeto (Figura 3).

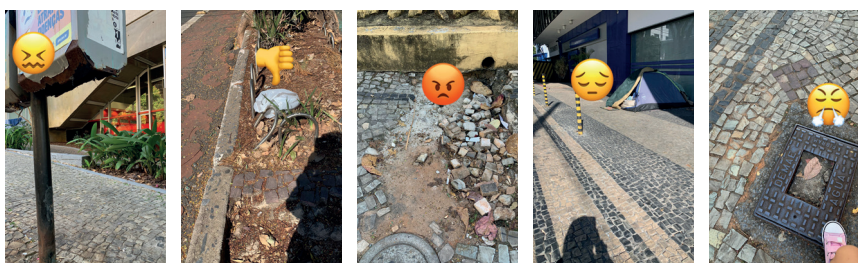


Figura 3 – Aspectos urbanos que evocam medos nas crianças. Fonte: elaborado pelas crianças participantes.

Vários medos inibem a livre exploração pelas crianças dos ambientes urbanos abertos que estruturam a área em estudo (Figura 3). As crianças nestes ambientes, supervisionadas ou não por adultos, comumente sentem medo de roubo, sequestro, atropelamento, quedas, doença e de se perderem.

Esta pluralidade de medos faz com as crianças desejem que seus momentos ao ar livre sejam supervisionados por um adulto conhecido (e.g., porteiros).

E: Mas se você fosse sozinha? [...] Como você iria se sentir?

Camila: Com medo, porque eu tenho medo de ser assaltada.

E: Por que você não vem sozinha?

Paola: Porque aqui na frente tem muito assalto, já teve até de pegar criança.

E: Mais algum outro medo ou só de ser assaltada?

Camila: Ah, acho que também tenho medo de me perder, mas acho que eu não iria me perder.

Segundo os relatos, a supervisão à distância (e.g., através da guarita), quando possível, é satisfatória bem como a mera presença de outras crianças conhecidas em algumas circunstâncias. Moradores de rua não foram descritos como infratores ou 'indesejáveis', mas como pessoas que precisavam ter o direito à moradia digna assegurado.

E: E por que você só pode brincar na rua fechada quando a sua mãe está presente?

Letícia: Não...depende...como o porteiro é 24h, se eu estiver com uma amiguinha que é mais velha, aí eu posso ficar lá, mas se for só eu, eu não posso.

E: Um homem na rua, eu estou vendo um emoji triste?

Sofia: É por causa que as pessoas não podem morar na rua.

E: Por que não?

Sofia: Porque elas devem morar numa casa.

O caminhar foi associado a risco de atropelamentos e quedas. A largura muito extensa de algumas vias, o intenso fluxo de veículos automotores, desrespeito às leis de trânsito e sinalização inadequada (e.g., tempo semafórico), segundo as crianças, demandam muita cautela por parte de todos, independente da idade. A manutenção inadequada das calçadas (e.g., saliências, depressões e buracos) faz com que o ir-e-vir das crianças seja uma experiência frustrante por exigir atenção constante para evitar tropeços e quedas.

E: E tem alguma coisa que você não gosta nesse caminho? Que você mudaria?

Fernanda: Sim...é muito lixo na rua, os carros passam muito rápido e é muito largo, muito grande de atravessar aí o sinal abre, pode atropelar.

E: Quais são as três coisas que você não gosta no caminho? Que, se pudesse, você mudaria?

Letícia: Que não tem sinal na rua aqui do lado[...] os carros não dão seta e pode acontecer da pessoa não saber pra onde ir pra não ser atropelada.

E: Um buraco! E o emoji, como é que você se sente quando você vê um buraco?

Sofia: Triste.

E: Triste. Por quê?

Sofia: Porque é perigoso para a gente cair.

Acúmulo de lixo nas calçadas e em outros ambientes urbanos abertos de uso público gera medo de doenças e de inundações, além de evocar uma sensação de tristeza por refletir uma falta de cuidado com o meio ambiente. É possível inferir dos depoimentos, fotos e desenhos gerados pelas crianças que diferentes medos (reais e imaginados) têm restringido o livre ir-e-vir das crianças na área em estudo (Figura 4).

E: E que mais [você não gosta]?

Letícia: Que sempre que eu tô passando, as pessoas jogam lixo no chão e eu não gosto, não é muito bom, a gente pode ficar doente.

E: E como você se sente quando você vê esse lixo furado?

Sofia: Triste e nervosa.

E: O que vai acontecer aí com esse lixo furado?

Sofia: Toda pessoa que jogar o lixo fora, vai cair na natureza e não pode.

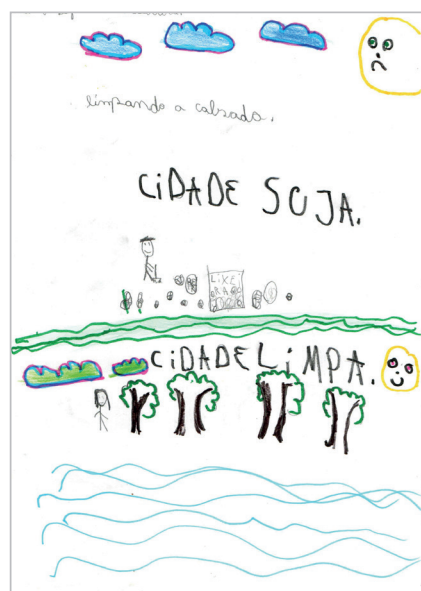


Figura 4 – Desenho retratando a importância da limpeza e dos elementos naturais na vivência urbana das crianças. Fonte: elaborado pelas crianças participantes.

Muitos aspectos físico-espaciais/artificiais, socioculturais e naturais presentes nos ambientes urbanos abertos de uso público em estudo, segundo as lentes das crianças, (ainda) oferecem ricas oportunidades de ação (e emoção) (Figura 5). As crianças percebem e, em alguns casos, atualizam várias *affordances* sociais, funcionais e emocionais positivas—afetos.



Figura 5 – Aspectos urbanos que evocam afetos. Fonte: elaborado pelas crianças participantes.

O contato com os elementos naturais (e.g., árvores, cães, água) foram muito valorizados pelas crianças por permitir a atualização de uma plethora de *affordances* positivas, como a contemplação (*affordance* funcional), brincadeiras (*affordance* social), sensação de relaxamento (*affordance* emocional), dentre outras. Todos os desenhos, sem exceção, elaborados pelas crianças representando “uma Belo Horizonte para crianças” contêm elementos naturais.

E: Que coisas você fica vendo?

Amanda: Aí eu fico olhando pros lados vendo as coisas aí fico olhando árvore, árvore que tem flor normalmente e que tem flor no chão eu gosto de tirar foto.

E: E você gosta de vir a pé?

Paola: Gosto, eu adoro ver as coisas, os carros andando, os cachorrinhos, um dia desses tinha até dois cachorrinhos de pijama.

Manifestações artísticas, como malabarismos por artistas de rua (aspecto sociocultural) e grafittis (aspecto físico-espacial), foram apreciadas por possibilitar a contemplação (*affordance* funcional), socialização indireta (*affordance* social) e sensação de alegria (*affordance* emocional).

E: E o que que você mais gosta do caminho?

Fernanda: Dos mala...aquele povo que fica jogando os trens pra cima, bambolê...malabarista e eu gosto da cultura urbana que fica fazendo pintura...

As experiências multissensoriais (e.g., cheiros de bolos, som da água) oportunizadas por certos ambientes urbanos abertos evocaram afetos. A diversidade de usos no pavimento térreo em conjunto com a permeabilidade das fachadas contribuiu para atrair a atenção das crianças e promover aprendizagens sobre o que é ser habitante da cidade.

E: Então me fala, quais são as três coisas que você mais gosta nesse seu caminho de casa até a escola?

Letícia: Observar, descobrir as coisas novas, as lojas, as roupas, comidas, cheiro da boleria que tem cheiro de salgado e de bolo, de ver o caminho que aí eu já vou decorando pra quando vier sozinha e as fontes que eu passo por elas, fonte que sai água na Pernambuco, na Savassi, que sai água.

As ferramentas de escuta aplicadas na leitura da região central da capital mineira permitiram uma leitura multifacetada de como as crianças participantes desta pesquisa vivenciam os espaços livres de domínio público que vivenciam cotidianamente na área circunscrita pela Avenida do Contorno. Segundo os olhares das crianças, os espaços livres da região central da capital mineira evocam tanto medos quanto afetos, além de (ainda) oportunizarem vivências variadas, como o brincar, socializar, exercitar, relaxar, descobrir e aprender.

5.2 Ferramenta de visualização

A Análise de Multicritérios por Pesos de Evidência se mostrou eficaz enquanto uma ferramenta de visualização daqueles espaços livres cujos aspectos físicos tendem a favorecer a mobilidade infantil independente. Esta ferramenta confirmou que os espaços livres de domínio público da região central de Belo Horizonte conformam um arquipélago urbano ao invés de um sistema de

espaços livres de qualidade onde as crianças podem desenvolver a autonomia e aprender a superar os seus medos.

Os mecanismos de consulta à importância relativa de cada variável, realizada com as crianças, levou à composição de quatro mapas de Análise de Multicritérios parciais, indicando das áreas mais favoráveis às menos favoráveis. Esses mapas apresentaram muita coerência, com a identificação espacial das mesmas áreas como classificadas como positivas ou negativas, com pequenas variações apenas nas classes intermediárias. O mesmo se confirmou quando os quatro mapas foram integrados também por multicritérios, para resultarem no mapa final de distribuição de condições positivas a negativas para o motivo de investigação (Figura 6 — Síntese de todas as variáveis. Fonte: elaborado pelas autoras.).

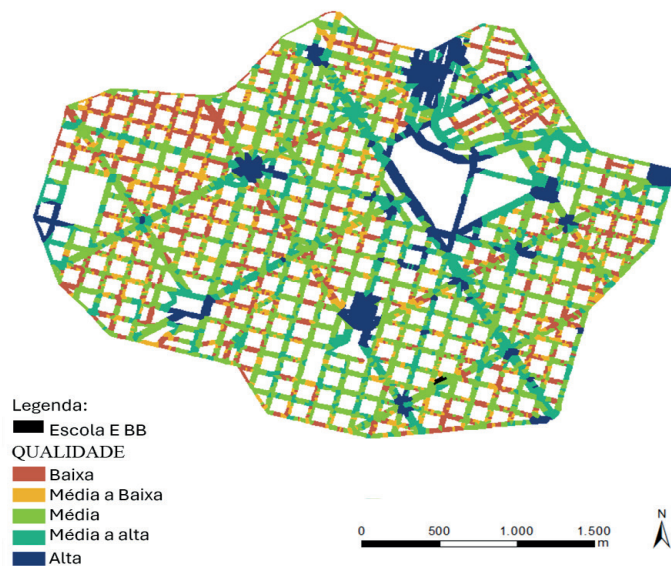


Figura 6 – Síntese de todas as variáveis. Fonte: elaborado pelas autoras.

Para se explorar amplamente os recursos de geoprocessamento na avaliação espacial, foi aplicado também o modelo de Análise de Incertezas, conhecido como SASE — *Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation*. O modelo identifica a combinação de onde há condições positivas, e não dúvidas quanto a isto, da mesma forma onde há condições negativas e não há dúvidas de que assim o são, assim como onde há condições positivas ou negativas mas há algum nível de incerteza, identificado por variações do comportamento espacial, o que exige mais detalhamentos. Observa-se muita robustez nos resultados obtidos, com clara certeza das classificações das melhores e piores áreas (Figura 7). A clara identificação dos lugares com potencial e dos lugares problemáticos é um retrato da realidade existente e uma base para a promoção de projetos e políticas de intervenção espacial.

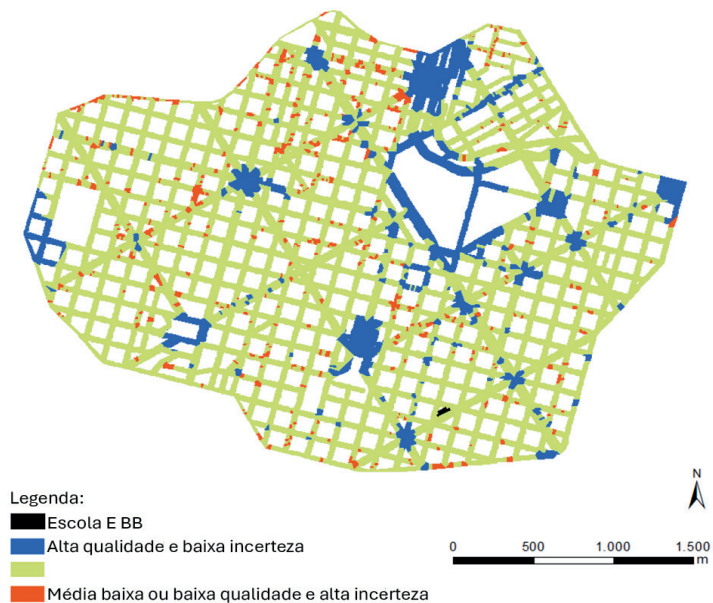


Figura 7 – Avaliação de incertezas no resultado. Fonte: elaborado pelas autoras.

6. Discussões

O declínio da mobilidade infantil independente e a primazia de processos decisórios essencialmente elitistas, masculinos e adultocêntricos vão de encontro à promoção do direito das crianças à cidade. O emparedamento infantil impacta negativamente não apenas na saúde e bem-estar das crianças, mas na sociedade como um todo. A nossa inabilidade em criar as condições necessárias para que as crianças explorem os seus arredores de modo mais autônomo vai também de encontro com o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 11 (ODS 11) que define que todo ambiente urbano deve ser inclusivo, seguro, resiliente e sustentável (ONU, 2015).

A aplicação das ferramentas de escuta testadas por estudo revelou que as crianças têm se mostrado extremamente criativas na percepção e atualização de *affordances* positivas nas suas interações com ruas, praças e outros espaços livres urbanos de domínio público. Aos olhos das crianças, alguns fragmentos do tecido urbano—ilhas do arquipélago urbano—em certas ocasiões facilitam o brincar, socializar, caminhar, aprender, contemplar, observar e vivenciar reações emocionais positivas, com ou sem a supervisão de um adulto (Figura 8).

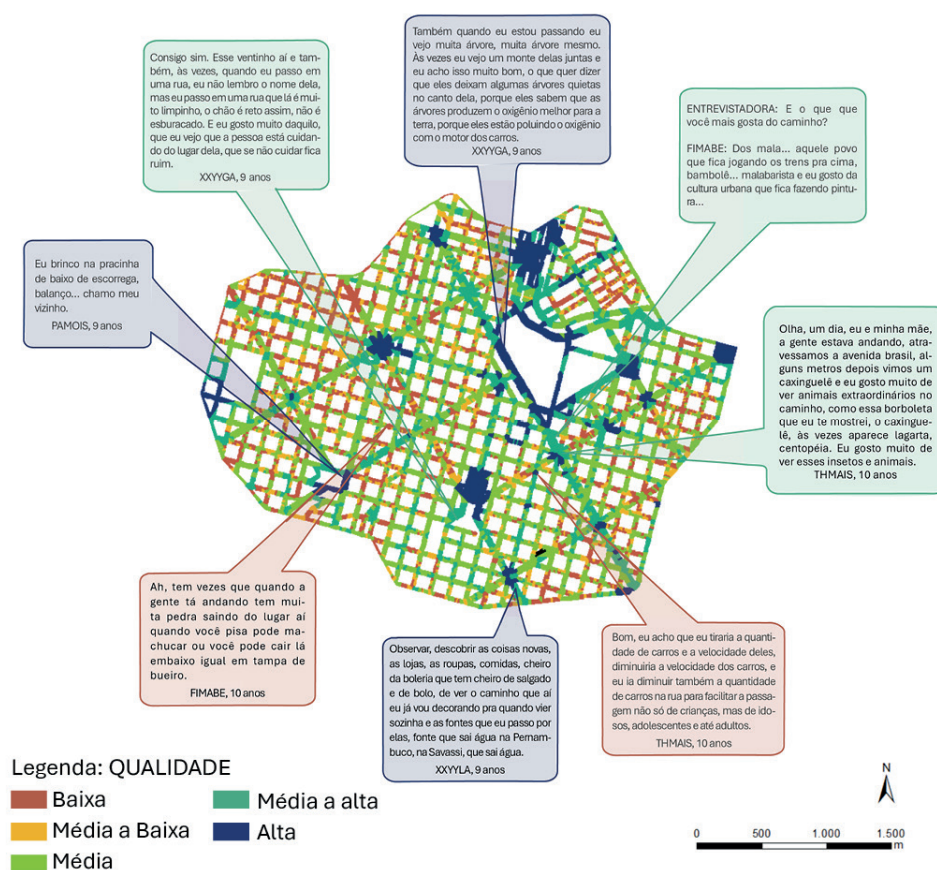


Figura 8 – Diagrama ilustrativo da área delimitada pela Avenida do Contorno enquanto um arquipélago urbano. Fonte: elaborado pelas autoras.

Já os medos (affordance emocional negativa) que também permeiam a vivência dos espaços livres explicaria o declínio da mobilidade infantil independente e, por conseguinte, os níveis de atividades físicas entre as crianças (Lam; Jayasinghe; Ahuja; Hills, 2023). Os medos são tão intensos que algumas crianças nem sequer almejam ter a oportunidade de explorar estes espaços de modo mais autônomo.

Cabe a ressalva que o medo é tão mutável quando as sociedades e que este assume um papel crítico na socialização dos indivíduos (Vilhema; Bittencourt; Zamora; Novaes; Bonato, 2011), como denota a frase corriqueiramente dita às crianças: “Não converse com estranhos”. A exploração da violência urbana pela mídia gera um medo socialmente partilhado de que não há mais ambientes urbanos abertos de uso público seguros. Medos, provocados por riscos reais ou imaginados, têm confinado as crianças às suas moradias e escolas, e o brincar ao ar livre tem cedido lugar ao vídeo game, televisão e redes sociais (Vilhema; Bittencourt; Zamora; Novaes; Bonato, 2011).

Embora o medo evocado por riscos reais (e.g., medo de atropelamento) seja um mecanismo evolutivo essencial para a sobrevivência, o medo evocado por riscos imaginários (e.g., medo de sequestro) é prejudicial à saúde pública por impedir modos mais saudáveis de vida urbana (e.g., caminhar casa-escola). Assim, medidas que busquem atenuar o medo desencadeado por riscos imaginários são valiosas na promoção da mobilidade independente das crianças (Navarrete-Hernandez, 2023).

A Prevenção do Crime Através do Design Ambiental (CPTED) é a estratégia mais utilizada para promover um senso de segurança nas cidades em

relação ao crime e violência (Navarrete-Hernandez, 2023). Com base em diferentes teorias de criminologia (e.g., Teoria das janelas quebradas) e de planejamento urbano (e.g., “olhos na rua”), o CPTED visa aumentar o risco percebido de detenção e apreensão do infrator [19, 20]. No entanto, não está claro se soluções centradas no infrator são adequadas para abordar o medo desencadeado por riscos imaginados pelas crianças (e seus responsáveis/cuidadores) (Navarrete-Hernandez, 2023). Mais estudos sobre esta temática são necessários (Navarrete-Hernandez, 2023).

As ilhas promotoras da mobilidade infantil independente não estão isentas de riscos, mas se caracterizariam por um baixo grau de exposição a perigos que colocam em risco a saúde e bem-estar da criança. Há necessidade de uma mudança de perspectiva: espaços livres promotores da mobilidade infantil independente, sob a ótica infantil, não são espaços controlados, vigiados, ordenados e com prescrição dos comportamentos possíveis, mas ambientes complexos, abertos, acessíveis, partilhados, significativos, plurais, alegres e lúdicos; ambientes que celebrariam a inventividade e criatividade infantil e onde estas teriam a oportunidade de aprender a superar os seus medos. As ferramentas de visualização deste estudo, por outro lado, mostraram que os espaços livres de qualidade presentes na região central de Belo Horizonte se configuram enquanto ilhas do arquipélago urbano. A conexão entre estas ilhas é de fundamental importância da geração de um sistema de espaços livres de qualidade.

7. Considerações finais

As ferramentas de escuta testadas neste estudo revelaram que os espaços livres de domínio público promotores da mobilidade infantil independente, do ponto de vista das crianças, são polivalentes, arriscados, artísticos, verdes, coloridos, cuidados, humanos e socialmente diversificados. Para aumentar os benefícios associados à mobilidade independente das crianças, os perigos (reais e imaginários) devem ser minimizados e as oportunidades de ação maximizadas. A garantia dos direitos das crianças à cidade, que inclui os direitos ao ir-e-vir, saúde, educação, diversão e recreação e vida comunitária bem como a promoção do desenvolvimento urbano sustentável (ODS11) pressupõem a criação de um sistema de espaços livres de domínio público que ofereçam uma gama de *affordances* positivas. Dada a variedade de fatores que interferem na mobilidade infantil independente, processos colaborativos visando a formulação de políticas urbanas, planos, programas, projetos e ações devem contar com a participação de crianças, pesquisadores de diferentes campos do conhecimento, ativistas e profissionais interessados em promover os direitos infantis. Espera-se que as ferramentas testadas e validadas por neste estudo para instrumentalizem processos dialógicos que visem promover a mobilidade infantil independente a partir da transformação de espaços livres com e para as crianças.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Código de Financiamento 001 e Pró-reitora de Extensão da UFMG (PROEX). Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto CNPq 406500/2023-1 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do projeto APQ-00779-22. Agradecimentos às crianças e seus responsáveis pela parceria.

Referências

- APPLEYARD, B. Livable streets for schoolchildren: a human-centred understanding of the cognitive benefits of Safe Routes to School. **Journal of Urban Design**, v. 27, n. 6, p. 692–716, 2022.
- BARKER, J.; WELLER, S. “Is it fun?” developing children centred research methods. **International Journal of Sociology and Social Policy**, v. 23, n. 1/2, p. 33–58, 2003.
- BARROS, P.; GUERRA, P.H.; KHAN, M.; *et al.* Prospects for research, policymaking, and urban design practice on active travel to/from school. **Journal of Transport & Health**, v. 38, 2024.
- BRAUN, V.; CLARKE, V. Thematic Analysis: A Practical Guide. **SAGE Publications**, 2021.
- BROBERG, A.; KYTTÄ, M.; FAGERHOLM, N. Child-friendly urban structures: Bullerby revisited. **Journal of Environmental Psychology**, v. 35, p. 110–120, 2013.
- BRASIL. Lei n.º 8.069, de 13 de julho de 1990. Dispõe sobre o Estatuto da Criança e do Adolescente. **Diário Oficial da União, Brasília**, 16 jul. 1990.
- DAVIS JR., C. A.; MORO, M. M.; MATEVELLI, G. V.; MACHADO, N. G. Contribuições Voluntárias: Impactos Potenciais dos Cidadãos Online e seus Dispositivos Móveis. **Tecnologias de Geoinformação para Representar e Planejar o Território Urbano**. 1ed. Rio de Janeiro, 2016.
- DRIESSNACK, M. Children’s Drawings as Facilitators of Communication: A Meta-Analysis. **Journal of Pediatric Nursing**, v. 20, n. 6, p. 415–423, 2005.
- FARIAS, R. N. P.; MÜLLER, F.; UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, BRAZIL. A Cidade como Espaço da Infância. **Educação & Realidade**, v. 42, n. 1, p. 261–282, 2017.
- GIBSON, J.J. **The Ecological Approach to Visual Perception**. Boston: Houghton, 1979.
- GOODCHILD, M. Citizens as sensors: The world of volunteered geography. **GeoJournal**, v. 69, p. 211–221, 2007.
- HARPER, D. Talking about pictures: A case for photo elicitation. **Visual Studies**, v. 17, n. 1, p. 13–26, 2002.
- HEFT, H. Affordances of children’s environments: a functional approach to environmental description. **Child Environ Q**, v. 5, p. 29–37, 1998.
- JACOBS, J. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House, 1961.
- KANTOMAA M. T.; TAMMELIN T. H.; DEMAKAKOS P., *et al.* Physical activity, emotional and behavioural problems, maternal education and self-reported educational performance of adolescents. **Health Educ Res**, v. 25, p. 368–79, 2010.

KYTTÄ, A. M.; BROBERG, A. K.; KAHILA, M. H. Urban Environment and Children's Active Lifestyle: SoftGIS Revealing Children's Behavioral Patterns and Meaningful Places. **American Journal of Health Promotion**, v. 26, n. 5, p.137–148, 2012.

LAM H. Y.; JAYASINGHE S.; AHUJA K. D. K.; HILLS A. P. Active School Commuting in School Children: A Narrative Review of Current Evidence and Future Research Implications. **Int J Environ Res Public Health**, v. 16, n. 20, 2023.

LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWISK, P. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. **Environ. Model. Softw.**, v. 57, p. 235–247, 2014.

NAVARRETE-HERNANDEZ, P. *et al.* Planning for fear of crime reduction: Assessing the impact of public space regeneration on safety perceptions in deprived neighborhoods. **Landscape and Urban Planning**, v. 237, p. 104–809, 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 1 mar. 2024.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Convenção sobre os Direitos da Criança**, 1989. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/convencao-sobre-os-direitos-da-crianca>. Acesso em: 5 mar. 2024.

PUNCH, S. Research with Children: The same or different from research with adults? **Childhood**, v. 9, n. 3, p. 321–341, 2002.

ROE, J.; ASPINALL, P. The restorative benefits of walking in urban and rural settings in adults with good and poor mental health. **Health & Place**, v. 17, n. 1, p. 103–113, 2011.

SCHOEPPE S.; DUNCAN M. J.; BADLAND H., *et al.* Associations of children's independent mobility and active travel with physical activity, sedentary behaviour and weight status: a systematic review. **J Sci Med Sport**, v. 16, p. 312–319, 2013.

SHAW, B.; BICKET, M.; ELLIOTT, B.; FAGAN-WATSON, B.; MOCCA, E.; HILLMAN, M. Children's independent mobility: an international comparison and recommendations for action. Westminster University: **Policy Studies Institute**, 2015.

VILHEMA, J. de; BITTENCOURT, M. I. G. de F., ZAMORA, M. H., NOVAES, J. de V.a, e BONATO, M. de C. R. Medos infantis, cidade e violência: expressões em diferentes classes sociais. *Psic. Clin.*, **Rio de Janeiro**, v. 23, n. 2, p.171–186, 2011.

VYGOTSKY, L.S. **A formação social da mente**: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. Tradução: José C. Neto, Luís S. M. Barreto, Solange C. Afeche. 7ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WAYGOOD E. O.D.; FRIMAN, M.; OLSSON L. E.; *et al.* Children's incidental social interaction during travel International case studies from Canada, Japan, and Sweden. **J Transp Geogr**, v.63, p. 22–9, 2017.

TRANS VERSO

03 **Pensamento *Lean* e *Green* e embalagens plásticas de insumos em indústria de biscoitos de Arapiraca-AL: análise do uso para melhoria ambiental**

recebido em 26/08/2024
aprovado em 26/09/2024

Pensamento *Lean* e *Green* e embalagens plásticas de insumos em indústria de biscoitos de Arapiraca-AL: análise do uso para melhoria ambiental

Maria Francilania Fontes Barbosa

francilaniafontesbarbosa@gmail.com

Instituto Federal de Alagoas

Áurea Luiza Quixabeira Rosa e Silva Rapôso

aurea.raposo@ifal.edu.br

Instituto Federal de Alagoas

RESUMO (PT): A indústria alimentícia enfrenta desafios na redução e destinação adequada das embalagens plásticas dos insumos. O pensamento *Lean* e *Green*, que combina práticas de Manufatura Enxuta e Produção mais limpa, pode ajudar nesses desafios. Essa pesquisa buscou analisar o uso das embalagens plásticas dos insumos da fabricação de biscoitos de indústria alimentícia de pequeno porte na cidade de Arapiraca-AL, visando propor oportunidades de melhoria ambiental no processo produtivo. Foi realizada pesquisa bibliográfica para identificação das práticas *Lean* e *Green*; e, a caracterização das embalagens plásticas e dos aspectos e impactos ambientais dos materiais plásticos no processo de produção analisado. Foram identificadas sete práticas e ferramentas que podem ser implementadas para promover a sustentabilidade ambiental na indústria-caso, com ênfase na redução de resíduos e na reciclagem de materiais plásticos, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e à Estratégia Nacional de Economia Circular.

Palavras-chave: *Sustentabilidade ambiental; práticas Lean e Green; embalagens plásticas*

ABSTRACT (PT): *The food industry faces challenges in reducing and properly disposing of plastic packaging for inputs. Lean and Green thinking, which combines Lean Manufacturing and Cleaner Production practices, can help with these challenges. This research sought to analyze the use of plastic packaging for the production of cookies in a small food industry in the city of Arapiraca-AL, with a view to proposing opportunities for environmental improvement in the production process. A literature search was carried out to identify Lean and Green practices, and to characterize the plastic packaging and the environmental aspects and impacts of the plastic materials in the production process analyzed. Seven practices and tools were identified that can be implemented to promote environmental sustainability in the case industry, with an emphasis on reducing waste and recycling plastic materials, in line with the Sustainable Development Goals (SDGs) and the National Circular Economy Strategy.*

Keywords: *Environmental sustainability; Lean and Green practices; plastic packaging.*

1. Introdução

Os impactos ambientais, causados pelo consumo de matérias-primas e pela geração de resíduos nos processos produtivos, acarretam preocupação com o meio ambiente e demandam das indústrias a busca por alternativas que promovam a preservação ambiental. O movimento em direção a operações e produtos mais verdes tem forçado as empresas a buscarem alternativas para equilibrar ganhos de eficiência e respeito ao meio ambiente em suas atuais operações e produtos (Garza-Reyes, 2015).

Segundo a ISO 14001 (ABNT, 2015) o objetivo do Desenvolvimento Sustentável é alcançado com o equilíbrio dos três pilares da sustentabilidade: o ambiente, a sociedade e a economia. A sociedade anseia por sistema de produção responsável, que permita o crescimento socioeconômico e ambiental, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades e demandas (Mittal *et al.*, 2017). A mudança para produção mais responsável mostra-se impulsionada por pressões de diferentes frentes, como o mercado, os consumidores e os órgãos ambientais (Mejia; Kajikawa, 2021).

O pensamento *Lean* e *Green* constitui-se em metodologia e abordagem operacional para reduzir o impacto ecológico negativo dos produtos e serviços de uma organização, bem como melhorar a eficiência ambiental das operações, sem deixar de atingir os objetivos financeiros (Garza-Reyes, 2015). As cadeias produtivas geram perdas em seus processos produtivos, mais conhecidas como resíduos. Cada tipo de material gerado tem características, especificações e formas de impactar o ambiente (Ferigatto *et al.*, 2017). A redução na geração de resíduos, principalmente dos potencialmente tóxicos e/ou não biodegradáveis, configura-se pauta do pensamento *Lean* e *Green* (Barbosa, 2023; Assumpção, 2016).

Em sua pesquisa, Benson (2021) destaca que resíduos à base de plásticos sintéticos não biodegradáveis, descartados inadequadamente, são capazes de flutuar no meio ambiente, acumulando vários poluentes tóxicos. Dentre os tipos de plásticos, os descartáveis, também chamados de uso-único ou de ciclo de vida curto, são os que causam maiores impactos. O ciclo de vida longo refere-se aos materiais plásticos consumidos em mais de 5 anos; o ciclo de vida médio, ao consumo de plásticos entre 1 e 5 anos; e, o ciclo de vida curto, ao consumo de plástico transformado em até 1 ano (ABIPLAST, 2022).

Nos últimos 4 anos no Brasil, segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2022), a indústria de alimentos aumentou o consumo de plástico de ciclo de vida curto, que são os materiais descartados em menos de 1 ano de utilização. Em 2018, a média de consumo de embalagens de ciclo de vida curto era de 35,7%; no relatório de 2022, aumentou para 40,1%, divididas em: 74% de polietileno de baixa densidade (PEBD) e de polietileno linear de baixa densidade (PEBDL); 16% de polipropileno (PP); e 10% de polietileno de alta densidade (PEAD).

Segundo Landim *et al.* (2016), os materiais plásticos têm chamado atenção, em virtude da quantidade de resíduos gerada, dos impactos ao meio ambiente causados e do tempo de decomposição. Os materiais plásticos são utilizados em substituição a diversos tipos de materiais, como por exemplo, o aço, o vidro e a madeira, devido às suas características de baixo peso, baixo custo, elevadas resistências mecânica e química, facilidade de aditivação e por serem, em sua maioria, 100% passíveis de reciclagem (SINDIPLAST, 2018).

Com base neste contexto, este artigo teve como objetivo analisar o uso das embalagens plásticas dos insumos da fabricação de biscoitos de indústria alimentícia de pequeno porte na cidade de Arapiraca-AL, visando identificar oportunidades de melhoria ambiental no processo produtivo. O presente artigo apresenta os resultados de pesquisa desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTEC) do Instituto Federal de Alagoas no período de agosto de 2021 a julho de 2023 (Barbosa, 2023).

2. Procedimentos Metodológicos

A análise e os resultados apresentados neste artigo derivam de pesquisa do mestrado profissional em Tecnologias Ambientais (PPGTEC-Ifal), cujo percurso investigativo e etapas de desenvolvimento encontram-se sintetizados na Figura 1 (Barbosa, 2023; Barbosa; Rapôso, 2024).

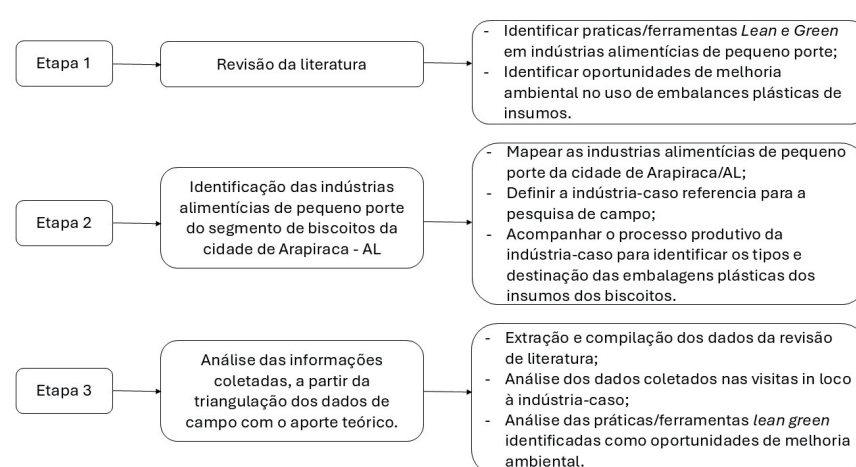


Figura 1 – Etapas da Pesquisa. Fonte: Barbosa (2023).

A etapa 1 constituiu-se na revisão da literatura, por meio de pesquisas bibliográficas para identificar as práticas *Lean e Green* na indústria alimentícia, visando a análise da aplicação e/ou adequação às indústrias de pequeno porte e serviu como aporte teórico para identificar oportunidades de melhoria ambiental no uso de embalagens plásticas de insumos em indústria-caso da cidade de Arapiraca-AL.

As pesquisas bibliográficas auxiliaram na compreensão da cadeia produtiva do plástico, dos tipos de embalagens plásticas e dos aspectos e impactos desse material para o meio ambiente (Marconi; Lakatos, 2021), sendo aplicadas *strings* de buscas específicas em 3 bases de dados (Google Acadêmico, Elsevier e Periódicos CAPES) e utilizado o filtro temporal com o período de 2016-2023 (Barbosa, 2023). Visando ampliar a análise dos resultados de Barbosa (2023), neste artigo, a etapa 1 foi atualizada com trabalhos recentes, publicados no corrente ano (2024).

A etapa 2 consistiu em pesquisa de campo, composta pelo levantamento e pela identificação das indústrias alimentícias de pequeno porte do segmento de biscoitos da cidade de Arapiraca-AL, com vistas à definição de indústria-caso (Barbosa, 2023). Foram realizadas visitas nas redes de supermercado de Arapiraca-AL para conhecer as marcas de biscoitos de trigo comercializadas e quais eram advindas de fabricantes locais, visto que o principal critério

de seleção da indústria-caso por Barbosa (2023) foi o tempo de formalização no mercado local.

Por fim, a etapa 3 compôs-se pela análise das informações coletadas, a partir da triangulação dos dados da pesquisa de campo com o aporte teórico. Os dados qualitativos da revisão da literatura foram extraídos da leitura completa dos artigos selecionados nas bases de dados após aplicar os critérios de exclusão, já os dados quantitativos das publicações foram extraídos com apoio do software Excel através de tabelas e gráficos de resultados (Barbosa, 2023).

Há diversos processos internos e externos na indústria de biscoitos de trigo de pequeno porte da cidade de Arapiraca-AL; nesse sentido, a pesquisa de Barbosa (2023) identificou a geração e a destinação dos resíduos plásticos nos processos e nas operações do sistema produtivo intra indústria-caso, considerando desde a separação dos ingredientes de composição da massa dos biscoitos no setor de armazenamento até a operação de finalização da massa para a modelagem dos biscoitos, delimitada às embalagens dos insumos para levantamento dos aspectos e impactos ambientais dos materiais plásticos (Barbosa; Rapôso, 2023).

Para o levantamento dos aspectos e impactos ambientais, Barbosa (2023) adotou os quatro primeiros passos da metodologia proposta no guia de desempenho ambiental, desenvolvido pela *Danmarks Tekniske Universitet*, denominado Melhoria ambiental por meio do desenvolvimento de produtos - um guia (McAloon; Bey, 2013). O material orienta a análise do sistema produtivo por meio de 7 (sete) passos para a melhoria ambiental, sendo estes: 1. contexto de uso; 2. visão geral dos impactos ambientais; 3. criação do perfil ambiental, identificando as causas raízes; 4. rede de partes interessadas; 5. quantificação dos impactos ambientais; 6. criação de conceitos ambientais; e, 7. desenvolvimento de estratégias ambientais.

Trata-se do primeiro levantamento e diagnóstico ambiental das embalagens plásticas dos insumos da fabricação de biscoitos de trigo, considerando o sistema produtivo da indústria-caso, que contribuiu para a formação de banco de dados preliminar, não se constituindo em aplicação da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

3. Resultados e discussões

3.1 Pensamento *Lean* e *Green*

As indústrias vivem novo padrão de competitividade, tendo que melhorar, constantemente, os níveis de eficiência e qualidade, visando aumento da produtividade, balanceamento das operações, redução dos desperdícios, diminuição dos impactos ambientais e atendimento dos clientes de forma prática e pontual (Ferigatto *et al.*, 2017). Os desafios atuais exigem sistemas de produção altamente produtivos e responsivos, mas também ecoeficientes; ou seja, sistemas que agreguem mais valor com menores impactos ambientais (Abreu *et al.*, 2017).

A preocupação com os impactos ambientais, gerados pelas atividades industriais, está em evidência devido à maior conscientização da sociedade. As organizações são levadas a assumir papel proativo no desenvolvimento de processos de manufatura mais limpos, na concepção de produtos recicláveis e no desenvolvimento de estratégias e práticas para se tornarem mais ambientalmente responsáveis (Farias *et al.*, 2017).

O pensamento *Lean* e *Green* une a eficiência operacional com a responsabilidade ambiental. O “*Lean*” é reconhecido como o sistema de eficiência e utilizado para eliminar elementos não-valorizados na produção; e, o “*Green*” é considerado a nova maneira de pensar responsavelmente, como solução para alcançar a sustentabilidade empresarial (Farias *et al.*, 2017).

Para Abreu *et al.* (2017), o conceito do pensamento *Lean* e *Green* associa agregação de valor e eficiência em termos operacionais e ambientais. Esse conceito surge como efeito corolário dos desafios das empresas em repensar objetivos e estratégias para agregar mais valor, contribuir para a equidade social e prevenir os impactos ambientais. A pesquisa de Abreu *et al.* (2017) identificou 21 práticas e ferramentas *Lean* e *Green* como soluções estratégicas para alcançar a sustentabilidade empresarial, que se encontram sintetizadas no Quadro 1.

Design colaborativo	Design para o Meio Ambiente (DfE)	Ecodesign
Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	Cooperação do cliente com o meio ambiente	Reduzir, reutilizar e reciclar (3R)
Seleção de fornecedores com base em critérios ambientais	Sistemas de Gerenciamento Ambiental (SGA)	Controle de emissões ambientais (EEC)
Uso de produtos químicos menos nocivos	Uso de materiais biodegradáveis	Sugestões de melhorias dos processos produtivos pelos funcionários
Certificações ISO 14001	Treinamento ambiental	Logística reversa
Aumento da responsabilidade social	Redução de consumo de energia e água	Redução de resíduos industriais
Redução de embalagens	Redução de transporte	VSM ambiental

Quadro 1 – Práticas e Ferramentas *Lean* e *Green*. Fonte: Elaborado pelas autoras (2024), com base em Abreu *et al.* (2017) e Barbosa (2023).

De acordo com o Quadro 1, as 21 práticas e ferramentas *Lean* e *Green* vão desde o momento da concepção do produto em que requisitos relativos ao Design colaborativo, ao Design para o Meio Ambiente (DfE) e Ecodesign associam-se à Produção mais Limpa (P+L), até a adoção da prática de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Moraes *et al.* (2024) argumentam que a P+L caracteriza-se pela aplicação contínua de abordagem ambiental preventiva e integrada em processos produtivos, produtos e serviços, com o objetivo de diminuir os riscos significativos para o meio ambiente. Isso envolve ajustes no processo de produção, que possibilitam a redução de diversos resíduos, podendo variar desde pequenas modificações no modelo atual de produção até a adoção de novas tecnologias, sejam elas simples ou complexas. Também ressaltam que na P+L todos os tipos de resíduos devem ser evitados ou reincorporados ao processo produtivo, pois geram impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a economia e a sociedade, fundamentando-se na ideia de produzir com o menor impacto ambiental possível, respeitando os limites das tecnologias disponíveis (Moraes *et al.*, 2024).

Jamil *et al.* (2020) enfatizam o VSM ambiental ou *Environmental Value Stream Mapping* (E-VSM) como ferramenta para visualizar e mapear o fluxo de valor, integrando métricas de desempenho ambiental e operacional. O E-VSM mostra-se como evolução do tradicional *Value Stream Mapping* (VSM) (Verma; Sharma, 2021). O E-VSM viabiliza a visualização detalhada de todas as etapas do processo produtivo e ajuda a identificar pontos críticos onde

ocorrem desperdícios e impactos ambientais, permitindo a implementação de melhorias que alinhem eficiência operacional e sustentabilidade (Lee *et al.*, 2021).

Outra prática e ferramenta *Lean* e *Green* relevante, constante no Quadro 1, é o treinamento ambiental, que visa capacitar os colaboradores sobre os aspectos e impactos ambientais gerados nas operações da indústria, bem como promover aprendizados sobre os 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar). Dentre as práticas e ferramentas *Lean* e *Green* identificadas, encontram-se ainda: selecionar fornecedores com base em critérios ambientais; incentivar os funcionários a fazerem sugestões de melhorias dos processos produtivos; aumentar a responsabilidade social; e, implantar a logística reversa e a certificação ISO 14001 (ABNT, 2015).

O Quadro 1 também destaca a importância do uso de produtos químicos menos nocivos para reduzir os impactos ambientais associados à produção industrial. Essa prática e ferramenta *Lean* e *Green* está relacionada ao Controle de Emissões Ambientais (EEC), que busca monitorar e reduzir as emissões de poluentes. Já a cooperação do cliente com o meio ambiente constitui-se em prática e ferramenta *Lean* e *Green* que incentiva a conscientização e a participação dos consumidores em atitudes responsáveis, como o consumo consciente e a preferência por produtos que respeitem critérios ambientais. A redução do consumo de energia e água nas operações industriais também é importante prática e ferramenta *Lean* e *Green* (Abreu *et al.*, 2017).

Ainda com base no Quadro 1, com a redução de embalagens, é possível minimizar o volume de resíduos gerados no ciclo de vida dos produtos. A implantação de Sistemas de Gerenciamento Ambiental (SGA) revela-se em outra prática e ferramenta *Lean* e *Green* fundamental, que organiza e monitora as práticas ambientais na empresa, assegurando que as atividades sejam realizadas de acordo com normas e regulamentos ambientais, como a ISO 14001. O uso de materiais biodegradáveis surge como prática e ferramenta *Lean* e *Green* para reduzir a persistência de resíduos no meio ambiente, facilitando a decomposição natural. Ao otimizar a logística, a redução do transporte pode contribuir para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Já a redução de resíduos industriais mostra-se como um dos pilares do pensamento *Lean* e *Green* para que a produção se torne mais limpa e eficiente, ao evitar desperdícios e promover a reciclagem e a reutilização de materiais dentro da cadeia produtiva (Choudhary *et al.*, 2019).

A melhoria do desempenho ambiental, juntamente com a manutenção da eficiência operacional para gerar a relação custo-eficácia, é um dos principais desafios que afetam a competitividade de muitas empresas de micro e pequeno porte (PME) (Choudhary *et al.*, 2019). Em seu estudo, Varella *et al.* (2022) destacaram que os frameworks existentes para implantação do pensamento *Lean* e *Green* são direcionados para empresas de porte maior, desconsiderando o contexto específico de pequenas empresas. Choudhary *et al.* (2019) acrescentaram que há um crescimento de pesquisa voltada para integrar a eficiência operacional com o desempenho ambiental, utilizando a abordagem do pensamento *Lean* e *Green*, visando atender às necessidades específicas das PME.

A adoção das práticas e ferramentas *Lean* e *Green* pelas empresas tem como objetivo criar nova cultura organizacional, que abrange todos os níveis, desde a gestão até o operacional. Essa cultura busca continuamente eliminar ou, pelo menos, minimizar os desperdícios produtivos e a geração de resíduos. Para os resíduos que não podem ser eliminados, a prioridade é sempre reintegrá-los ao processo produtivo. Somente quando não for mais possível a reintegração, a empresa se compromete a garantir a destinação final adequada desses resíduos (Moraes *et al.*, 2024).

3.2. Embalagens plásticas de insumos na indústria alimentícia de pequeno porte

A palavra plástico vem do grego *plastikos*, que se refere a algo moldável. O plástico constitui-se em material que, ao longo dos anos, passou a fazer parte da rotina das pessoas e das empresas de diversas maneiras. Devido às suas características de durabilidade e flexibilidade, faz parte da composição de diversos produtos no segmento alimentício, na construção civil, na saúde, entre outros (Teixeira *et al.*, 2017).

Segundo Schlickmann (2018), com base nos dados da Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis (ABIEF, 2016), o insumo principal para produção de embalagem plástica para a indústria alimentícia no Brasil, são as resinas sintéticas de origem petroquímica, predominando o uso do Polietileno (PE), com 83%, e, do Polipropileno (PP), com 16% do total das embalagens produzidas. Além das resinas sintéticas, as embalagens plásticas são compostas por corantes, estabilizadores e compósitos, que vão desde antioxidantes, antiaderentes, antimicrobianos e estabilizantes contra a luz e raios ultravioletas (UVs) e materiais para efeitos de brilhos e opacidades nos rótulos e nas áreas impressas.

Uma das razões que fazem os plásticos serem materiais de uso, cada vez mais difundido, principalmente, na indústria alimentícia, é a durabilidade. Em consequência da estabilidade estrutural do plástico, há resistência aos diversos tipos de degradação, como fotodegradação, quimiodegradação e biodegradação. Alguns tipos de plásticos necessitam de séculos para se degradar (Conceição *et al.*, 2019). A poluição por plásticos pode ser considerada como um dos mais graves impactos ambientais da atualidade, afetando tanto os ambientes terrestres quanto os aquáticos (Carvalho *et al.*, 2021).

A produção dos plásticos e seu consumo desenfreado e insustentável estão gerando resíduos mais rapidamente do que a capacidade de serem tratados pela gestão de resíduos de cada país, causando preocupação global, diante do aumento da poluição e da impossibilidade de tratamento adequado em unidade regulamentada (Carvalho *et al.*, 2021). No Brasil, segundo dados de 2019 do Plano de Incentivo à Cadeia do Plástico (PICPLAST, 2020), que consiste em iniciativa criada em 2013 pela ABIPLAST, a indústria gera 28,4% dos resíduos plásticos provenientes de embalagens, como demonstra a Figura 2.

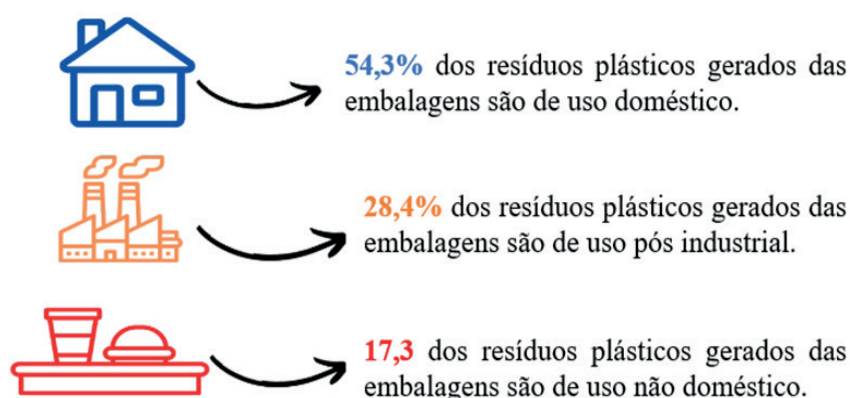


Figura 2 – Uso de embalagens plásticas no Brasil. Fonte: Barbosa, 2023, com base nos dados da PICPLAST, 2020.

Esse dado demonstra a necessidade de programas e ferramentas, voltadas para redução, reuso e reciclagem desse material nas indústrias. Um dos impactos causados pela geração de resíduos plásticos é o aumento desse material nos aterros sanitários e em destinações inadequadas (Santos, 2018). A maioria dos plásticos empregados nas embalagens de insumos para alimentos na indústria é utilizada por menos de uma semana, mas a prolongada durabilidade desses materiais no meio ambiente gera crescimento dos resíduos poluentes, pois a grande maioria dos polímeros sintéticos é projetada para desempenho e durabilidade, mas não para degradabilidade e reciclabilidade, produzindo milhões de toneladas de plástico nos oceanos e aterros sanitários (Carvalho *et al.*, 2021).

Entre os segmentos de alimentos existentes, destaca-se neste artigo o segmento de fabricação de biscoitos de trigo. As fábricas de biscoitos são indústrias que produzem produtos obtidos pelo amassamento e cozimento de massa preparada com farinhas, amidos, féculas (fermentadas ou não) e outras substâncias alimentícias (Chamoun, 2017). Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (ABIMAPI), os biscoitos estão presentes em 97,7% dos lares brasileiros e ganharam popularidade, devido aos atributos de praticidade, saudabilidade e conveniência. O Brasil ocupa a posição de 4º maior vendedor mundial de biscoitos em toneladas, com registro de 1,51 (milhões de ton), comercializadas em 2020 (Rego; Vialta; Madi, 2020).

As indústrias alimentícias de pequeno porte devem apresentar tanto responsabilidade ambiental quanto responsabilidade social, devido à produção em escala e ao potencial volume de resíduos poluentes, como por exemplo, o volume das embalagens plásticas. É necessário buscar alternativas que alinhem estratégias ecoeficientes aos processos produtivos. A adoção de práticas e ferramentas *Lean* e *Green* se apresenta como possibilidade de melhoria ambiental em diversos aspectos desta indústria alimentícia, como o gerenciamento do uso de embalagens plásticas dos insumos.

3.3 A indústria-caso: origem e principais processos de fabricação de biscoitos

Segundo Barbosa (2023) e Barbosa e Rapôso (2023; 2024), a indústria-caso foi escolhida, devido a tradição na região do Agreste alagoano, sendo a fábrica de biscoitos de Arapiraca-AL com maior tempo de existência. Embora tenha

28 anos de formalização, a indústria-caso atua no mercado local há mais de 50 anos; pois, se constituía padaria familiar, que foi herdada de pai para filho. Quando foi formalizada, transformou-se em fábrica de biscoitos. Hoje a marca é encontrada em 17 estabelecimentos das 5 maiores redes de supermercado de Arapiraca-AL e em mais de 70% dos mercados de pequeno porte e lojas de conveniências.

No mapeamento das embalagens plásticas dos insumos, que são geradas após o uso das matérias-primas nas operações e processos de fabricação dos biscoitos de trigo, foram identificados os principais processos de produção da indústria-caso, que se encontram destacadas na Figura 3.

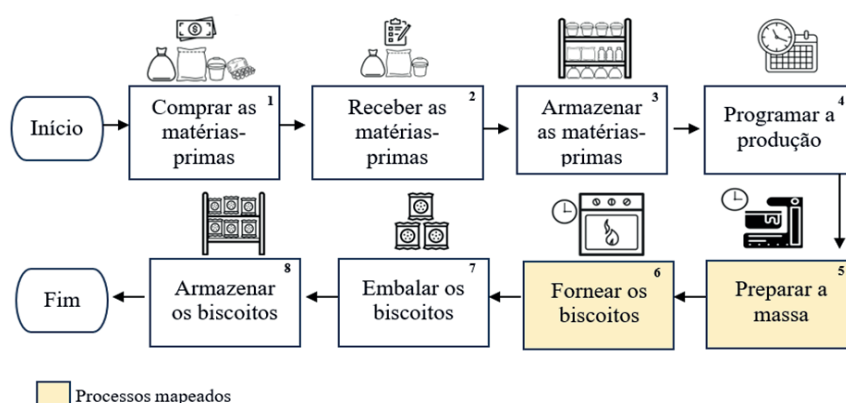


Figura 3 – Macroprocesso do sistema produtivo para fabricação de biscoitos da indústria-caso.
Fonte: Barbosa (2023).

Conforme representado na Figura 3, o processo produtivo da indústria-caso inicia pela compra quinzenal das matérias-primas (1); em seguida, há o recebimento dos insumos (2) e o armazenamento no almoxarifado (3). É realizada a programação da produção semanal, baseada nas quantidades em estoque e na programação das vendas (4). A partir de cronograma semanal de produção, os colaboradores preparam a massa (5), assam os biscoitos (6), embalam (7) e encaminham os produtos para o armazenamento (8) (Barbosa, 2023).

Conforme destacado na Figura 3, os dois processos, em que foi identificada a utilização de embalagens plásticas nos insumos na produção dos biscoitos, foram: os processos (5) e (6). Esses processos foram mapeados para identificar as etapas onde as embalagens eram utilizadas e a destinação das embalagens plásticas após o uso na produção. No processo de preparação da massa dos biscoitos (5), conforme mostra a Figura 4, entram os principais insumos do produto, sendo todos acondicionados em embalagens plásticas. A cada insumo adicionado na masseira um tipo de resíduo plástico de embalagem é gerado (Barbosa, 2023).

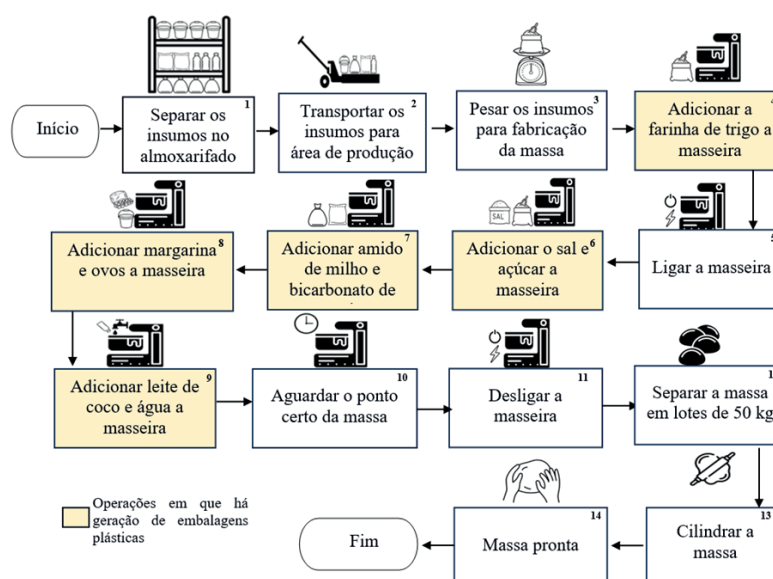


Figura 4 – Fluxograma das operações do processo de preparação da massa dos biscoitos. Fonte: Barbosa (2023).

Conforme a Figura 4, o processo de preparação da massa de biscoitos (5) começa com a separação e transporte dos insumos do almoxarifado para a produção (1 e 2). Primeiro, os insumos secos, como farinha de trigo, são adicionados (4) e a masseira é ligada (5). Em seguida, são pesados e adicionados outros insumos secos, como sal, açúcar, amido de milho e bicarbonato de amônio (6 e 7). Depois, são incluídos os ingredientes molhados, como margarina, ovos, leite e água (8 e 9), esta última inserida aos poucos. A mistura é processada até atingir o ponto certo (10), a masseira é desligada (11) e a massa é separada em lotes de 50 kg (12), que são cilindrados para uniformização e compactação (13), ficando assim pronta (14) (Barbosa, 2023).

Quanto ao processo de fornecer os biscoitos (6), foi identificada embalagem plástica em apenas uma operação do processo: a de untar as formas com óleo de soja, como detalha a Figura 5 a seguir.

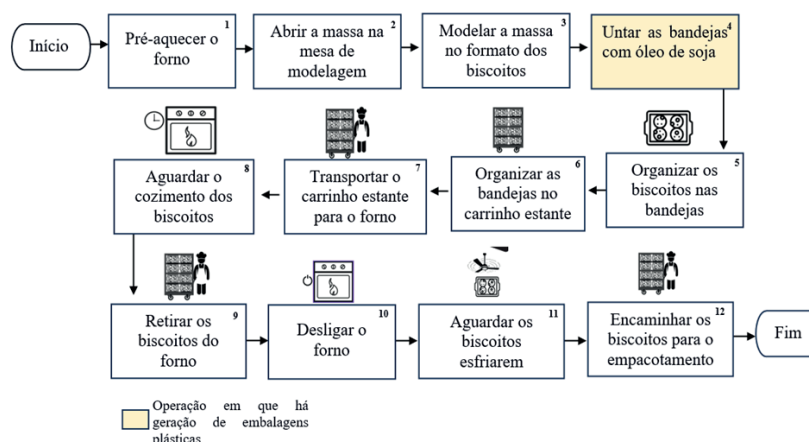


Figura 5 – Fluxograma das operações do processo de forneamento dos biscoitos. Fonte: Barbosa (2023).

De acordo com a Figura 5, após a preparação da massa, o forno é pré-aquecido (1). A massa é então aberta na mesa de modelagem (2), onde os biscoitos são cortados e modelados (3) usando um cortador manual com 5 lâminas para garantir a padronização. As bandejas são untadas com óleo de soja (4), e os biscoitos são organizados nelas com espaçamento adequado (5). As bandejas são colocadas em carrinhos de inox com capacidade para 56 bandejas (6) e levadas ao forno para assar (7). Os biscoitos assam por 30 minutos (8). O forno emite sinal sonoro, quando o assamento é concluído, para que sejam retirados (9). O colaborador desliga o forno (10) e leva os biscoitos para esfriar (11), sendo utilizado um ventilador para acelerar o resfriamento. Depois de resfriados, os biscoitos são transportados para o setor de empacotamento (12) (Barbosa, 2023).

A fábrica produz a média de 2.500 kg de biscoitos por dia de produção. Os biscoitos são embalados em porções de 220 g, 250 g, 300 g, 350 g e 370 g. A base de insumos da massa é a mesma para os 10 tipos de produtos fabricados pela indústria-caso. As embalagens dos biscoitos são de 2 tipos de plásticos: o Polipropileno (PP) e o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) (Barbosa, 2023; Barbosa; Rapôso, 2023, 2024). Convém ressaltar a pequena variação de peso dos produtos nas embalagens, que oscila entre 20 g a 50 g, considerando as porções acima indicadas (entre 220 g a 370 g), visto que essa variação pode não ser percebida pelos consumidores tanto no tocante à quantidade do produto que estão comprando quanto a melhor relação custo-benefício de consumo, se não forem devidamente destacadas nas embalagens.

Foi verificado no estudo que há volume de vendas dos biscoitos a granel para feirantes que comercializam os produtos na feira livre de Arapiraca-AL, assim como é realizada a venda a granel para algumas padarias da região, que comercializam os biscoitos por quilo para os clientes. Contudo, a venda a granel dos biscoitos não se constitui no foco principal da indústria-caso. Embora busque consolidar a marca no mercado, a comercialização a granel dos biscoitos é utilizada pela indústria para atender clientes antigos e como estratégia complementar de faturamento. A empresa não divulga esse tipo de venda para não gerar mais demanda, por conta da capacidade produtiva. Na visão da gestão da fábrica, a comercialização dos biscoitos em embalagem específica da marca valoriza o produto e aumenta seu valor agregado de mercado.

3.4 Caracterização das embalagens plásticas pós-uso dos insumos

A identificação dos insumos (ingredientes da massa), por Barbosa (2023), aconteceu pela análise da composição do produto, descrita na embalagem; depois, confirmada pela observação *in loco* no acompanhamento das operações do processo produtivo dos biscoitos. Os tipos de plásticos utilizados nas embalagens foram identificados de acordo com a classificação da norma ABNT NBR 13230 — Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis — identificação e simbologia (ABNT, 2008).

O levantamento de Barbosa (2023) identificou 5 tipos de plásticos diferentes, conforme apresentado no Quadro 2 a seguir, utilizados para acondicionar os insumos. Todos os tipos podem ser reciclados. A indústria-caso possui 2 rotas de destinação desses materiais plásticos: o aterro sanitário do Agreste e a comercialização nas feiras livres, principalmente a da cidade (Barbosa, 2023).

Observa-se no Quadro 2, que a matéria-prima mais utilizada na fabricação dos biscoitos é a farinha de trigo, com 30.000 kg, média de 600 sacos mensais

de 50 kg cada. Esses sacos são comercializados, após a retirada da farinha de trigo. Os comerciantes arapiraquenses têm preferência pela compra de farinha de trigo em sacos de plástico (Tipo 05 – PP), porque a comercialização desse produto, após a retirada da farinha de trigo, tornou-se prática comum. Só compram os sacos de papel Kraft, se houver redução dos valores (promoção/ liquidação) ou falta da farinha de trigo em sacos plásticos. Os sacos de açúcar também têm o mesmo destino de comercialização. Através de possíveis parcerias com outras fábricas locais, há a possibilidade da compra a granel para redução da quantidade de sacos plásticos (Barbosa, 2023).

Como mostra o Quadro 2, as garrafas de leite de coco, são compostas por 3 tipos de materiais plásticos (garrafa, Tipo 01 - PET; tampa, Tipo 02 - PEAD; e rótulo, Tipo 07 - Outros) e vão para o aterro sanitário; mas, podem ser comercializadas para a reciclagem e também podem ser adquiridas pela compra a granel. No entanto, faz-se necessário investimento em equipamentos de refrigeração para a armazenagem. Já os sacos plásticos vazios de amido de milho, sal e bicarbonato de amônio (todos do Tipo 04- PEBD) e as garrafas de óleo (garrafa, Tipo 01 - PET; tampa, Tipo 02 - PEAD; rótulo, Tipo 07 - Outros) também podem ser comercializados para a reciclagem, porém demandam higienização. O transporte dessas embalagens até a empresa recicladora local, devido à baixa quantidade produzida, deve ser realizado pela indústria-caso, visto que a recicladora local só faz o recolhimento do material na indústria a partir de 1000 kg (Barbosa, 2023). O que demanda planejamento estratégico e operacional pela indústria-caso no âmbito do pensamento *Lean e Green*.

Nota: Polietileno de Alta Densidade - PEAD; Polietileno de Baixa Densidade - PEBD; Polietileno Tereftalato - PET; Polipropileno - PP.

Insumos	Tipos de plástico	Consumo mensal	Destinação
Baldes de margarina de 15 kg	Tipo 02 - PEAD Tipo 05 - PP	400 unidades	Comercialização
Garrafas de leite de coco de 500 ml	Tipo 01 - PET Tipo 02 - PEAD Tipo 07 - Outros	1.600 unidades	Aterro sanitário
Sacos de farinha de trigo de 50 kg	Tipo 05 - PP	600 unidades	Comercialização
Sacos de açúcar de 50 kg	Tipo 05 - PP	80 unidades	Comercialização
Sacos de sal com 30 unidades de 1 kg	Tipo 04 - PEBD	120 unidades	Aterro sanitário
Sacos de amido de milho de 25 kg	Tipo 04 - PEBD	80 unidades	Aterro sanitário
Garrafas de óleo de soja de 900 ml	Tipo 01 - PET Tipo 02 - PEAD Tipo 07 - Outros	20 unidades	Aterro sanitário
Sacos de bicarbonato de amônio de 30 kg	Tipo 04 - PEBD	30 unidades	Aterro sanitário

Quadro 2 – Caracterização das embalagens plásticas dos insumos utilizados na indústria-caso.
Fonte: Elaborado pelas autoras (2024).

Os sacos plásticos de farinha de trigo e de açúcar (ambos do Tipo 05 - PP) e os baldes de margarina (balde, Tipo 02 - PEAD; e, alça - Tipo 05 - PP) da indústria-caso são vendidos para comerciantes locais que, por sua vez, vendem esses materiais limpos para feirantes e agricultores da região. O saco é comercializado a R\$ 1,00 (um real) ou R\$ 1,50 (um real e cinquenta

centavos) e os baldes a R\$ 2,50 (dois reais e cinquenta centavos) ou R\$ 3,00 (três reais). O valor aplicado varia de acordo com a quantidade comprada.

O envio das embalagens plásticas, que não são reutilizadas pela indústria-caso, para a reciclagem pode se constituir importante ação para reduzir a quantidade encaminhada para o aterro sanitário e para direcionar a indústria-caso na aplicação das práticas e ferramentas *Lean* e *Green*, cumprindo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para a meta 9.4 do ODS 9 e para as metas 12.5 e 12.6 do ODS 12, além de colaborar com a transição para a Economia Circular (EC). De acordo com a Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), instituída pelo Decreto Nº 12.082 de 27 de junho de 2024 (Brasil, 2024), a EC é definida como sistema econômico de produção que mantém o fluxo circular de recursos, associando a atividade econômica à gestão circular dos recursos. Esse sistema baseia-se na adição, retenção ou recuperação do valor dos materiais, seguindo os princípios da não geração de resíduos, da circulação de produtos e materiais, e da regeneração do meio ambiente. Conforme estabelecido na ENEC (Brasil, 2024), a transição para a EC visa promover o uso eficiente dos recursos naturais e a adoção de práticas sustentáveis ao longo de toda a cadeia produtiva. Essa transição é essencial para garantir a redução da poluição, a regeneração do meio ambiente e o aumento do ciclo de vida dos materiais.

A análise do processo produtivo e da gestão dos resíduos plásticos na indústria-caso por Barbosa (2023) mostrou oportunidades para aprimorar a sustentabilidade ambiental e a eficiência operacional. A identificação dos tipos de plásticos das embalagens e das rotas de destinação dos resíduos plásticos permitiu que fossem identificadas medidas direcionadas à redução do desperdício, promovendo a reciclagem e fortalecendo parcerias com outras partes interessadas e/ou outros produtores locais. A possibilidade de comercialização dos materiais plásticos para reciclagem pode contribuir para a redução do impacto ambiental e gerar fontes de receita para a indústria-caso.

3.5 Perfil ambiental das embalagens plásticas e oportunidades *Lean* e *Green*

Quanto ao perfil ambiental das embalagens plásticas, conforme sintetizado no Quadro 3, o estudo de Barbosa (2023) identificou os aspectos e impactos ambientais, caracterizou os impactos e apresentou as oportunidades *Lean* e *Green* para a realidade da indústria-caso. Os aspectos identificados promovem impactos ambientais negativos, devido à geração de resíduos sólidos, ao aumento de materiais plásticos enviados para o aterro e à falta de reciclagem das embalagens plásticas.

Considerando as 21 práticas e ferramentas *Lean* e *Green* do Quadro 1, foram identificadas 7 práticas e ferramentas *Lean* e *Green*, que podem ser aplicadas ao contexto da indústria-caso, visando minimizar os impactos ambientais das embalagens plásticas dos insumos (Barbosa, 2023). Embora a destinação de resíduos no aterro sanitário adotada pela empresa esteja em conformidade com a disposição ambientalmente adequada (PNRS, Lei nº 12.305/2010), há oportunidades mais ecoeficientes no âmbito do pensamento *Lean* e *Green*, que podem ser exploradas, como as indicadas no Quadro 3.

Tipos de plásticos	Aspectos ambientais	Impactos ambientais	Categorização dos impactos	Oportunidades <i>Lean e Green</i>
Tipo 01 - PET	Geração de resíduos sólidos	Aumento de materiais plásticos enviados para o aterro	Impacto negativo (N)	1 - Aplicação dos 3 R (Reduzir, Reutilizar, Reciclar);
Tipo 02 - PEAD			Impacto negativo (N)	
Tipo 04 - PEBD	Quantidade de materiais plásticos enviados para aterro	Falta de reciclagem dos materiais plásticos destinados para o aterro	Efeito direto (D)	2 - Seleção de fornecedores com base em critérios ambientais;
Tipo 05 - PP	Quantidade de materiais plásticos para comercialização		Área de abrangência regional	3 - Redução de embalagens com compra a granel;
Tipo 07 - Outros	Tipos de materiais plásticos gerados		Duração temporária (T)	4 - Avaliação do ciclo de vida (AVC);
	Destinação dos materiais plásticos		Prazo para manifestação do impacto imediato (I)	5 - Logística reversa em parceria com fabricantes/fornecedores;
				6 - Substituição das matérias-primas adquiridas em embalagens plásticas por embalagens de maior biodegradabilidade;
				7 - Conscientização e orientação da equipe quanto aos impactos ambientais das embalagens plásticas.

Quadro 3 – Aspectos e impactos ambientais das embalagens plásticas da indústria-caso.
Fonte: Barbosa (2023).

Quanto à aplicação dos 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), Barbosa (2023) propôs a redução do uso de embalagens plásticas, a reutilização das embalagens quando possível e a reciclagem dos materiais plásticos descartados. Para que a indústria-caso possa implementar essa prática e ferramenta *Leane Green*, será necessário estabelecer procedimentos de separação de resíduos na fonte, treinamento da equipe e parcerias com empresas locais de reciclagem.

A seleção de fornecedores com base em critérios ambientais pode incluir práticas de produção responsável, certificações ambientais e políticas de gestão de resíduos. Se um fornecedor não atender a esses critérios, a empresa pode considerar outras alternativas ou implementar programas de melhoria junto aos fornecedores existentes. Já quanto à redução de embalagens com compra a granel, a quantidade a ser estocada dependerá da demanda da indústria-caso e da capacidade de armazenamento. O custo do transporte e estoque precisaria ser avaliado em maior profundidade em comparação com os custos das embalagens individuais. O que demanda repensar a logística reversa em parceria com fabricantes e fornecedores locais.

Quanto à ACV, pode ser realizada através de software especializado ou por meio de metodologias específicas, envolvendo a análise aprofundada dos impactos ambientais desde a extração das matérias-primas até a destinação final. Para que essa prática e ferramenta *Lean e Green* possa ser aplicada

na indústria-caso é necessário que a mesma amplie as ações de melhorias ambientais para gerar subsídios quantitativos para a análise da ACV.

A substituição das embalagens plásticas por embalagens biodegradáveis pode envolver aumento inicial nos custos, mas é importante considerar os benefícios em longo prazo, como por exemplo, a redução do impacto ambiental e a melhoria da imagem da indústria junto aos clientes e consumidores, sendo necessária avaliação mais aprofundada desses fatores. A embalagem é considerada biodegradável, quando pode se decompor naturalmente, resultando em menor permanência no meio ambiente em relação às embalagens não biodegradáveis (Ferreira; Silva, 2024). Landim *et al.* (2016) definem a biodegradação como processo natural e complexo, em que compostos orgânicos são transformados em compostos mais simples por meio de mecanismos bioquímicos; e, posteriormente, são redistribuídos no meio ambiente através dos ciclos de carbono, nitrogênio e enxofre. Em outras palavras, a biodegradação de um polímero ocorre quando microrganismos e suas enzimas utilizam esse polímero como fonte de nutrientes.

Para Hussain *et al.* (2024), embora as embalagens biodegradáveis possam ter custo de produção mais alto, esses custos podem ser compensados por menores despesas associadas ao descarte e ao tratamento de resíduos, especialmente em contextos onde a infraestrutura de compostagem é eficiente, reduzindo assim a quantidade de resíduos persistentes no meio ambiente. As embalagens biodegradáveis se decompõem mais rapidamente e de maneira mais completa, o que pode reduzir os custos associados à gestão de resíduos de longo prazo (Hussain *et al.*, 2024).

A conscientização e orientação da equipe quanto aos impactos ambientais das embalagens plásticas pode ser feita através de treinamentos, campanhas de sensibilização e comunicação interna. O objetivo é criar uma cultura organizacional que valorize a sustentabilidade e o cuidado com o meio ambiente (Barbosa, 2023).

As análises realizadas para o contexto produtivo da indústria-caso revelou a necessidade de disseminação de informações sobre os impactos dos plásticos para o meio ambiente, dos tipos de plásticos que podem ser destinados para a reciclagem e das oportunidades de boas práticas no uso e destinação desse tipo de material para indústrias alimentícias de pequeno porte do segmento de biscoitos da cidade de Arapiraca-AL. Apresentar informações confiáveis e adequadas à realidade de cada segmento e porte da indústria sobre as formas de direcionar o processo produtivo no caminho da sustentabilidade revelou-se importante para promover mudanças positivas no alcance dos ODS e da EC por meio do pensamento *Lean* e *Green*.

4. Considerações Finais

A análise do uso de embalagens plásticas de insumos na indústria de biscoitos de Arapiraca-AL, sob a ótica do pensamento *Lean* e *Green*, revelou 7 importantes oportunidades para aprimorar a sustentabilidade ambiental e a eficiência operacional. A identificação dos tipos de plásticos utilizados, juntamente com as rotas de destinação desses materiais, permitiu a compreensão das práticas existentes e das áreas de melhoria ambiental que são necessárias.

As embalagens plásticas são cada vez mais utilizadas pela indústria alimentícia local e correspondem a 80% dos tipos de embalagens dos insumos utilizados para a fabricação de biscoitos da indústria-caso. A caracterização

das embalagens utilizadas nas matérias-primas da indústria-caso demonstrou que a maioria dos insumos para a fabricação da massa dos biscoitos é adquirida em embalagens de material plástico, sendo constatado que todas as embalagens podem ser recicladas. São utilizadas 5 categorias de embalagens plásticas, segundo a classificação da ABNT NBR 13230:2008, são elas: Tipo 01-PET; Tipo 02 - PEADB; Tipo 04 — PEBD; Tipo 05 — PP; e, Tipo 07 - Outros. Mesmo todas as embalagens podendo ser recicladas, a indústria-caso direciona para reuso apenas 3 embalagens de insumos de 2 tipos de materiais plásticos (balde de margarina do Tipo 02 - PEAD; e, sacos de açúcar e de farinha de trigo, ambos do Tipo 05 - PP), que são comercializadas após o uso na fábrica. As demais embalagens são destinadas para o aterro sanitário local.

As oportunidades *Lean* e *Green* identificadas, como a aplicação dos 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), a seleção de fornecedores com base em critérios ambientais, a avaliação do ciclo de vida das embalagens e a substituição por alternativas biodegradáveis, demonstram-se alinhadas aos ODS e à ENEC. Essas oportunidades podem contribuir para a redução do impacto ambiental e para promover a cultura organizacional voltada à sustentabilidade. A integração dessas oportunidades *Lean* e *Green* no cotidiano da indústria-caso pode resultar em redução dos resíduos enviados ao aterro sanitário, ao mesmo tempo em que pode fortalecer o compromisso com a responsabilidade social e com a gestão ambiental.

Apresentar oportunidades *Lean* e *Green* para o setor produtivo de fabricação de biscoitos mostrou-se como estratégia necessária para viabilizar a melhoria contínua, focada em tecnologias ambientais limpas, que gerem resultados financeiros positivos e redução nos impactos ambientais dos processos produtivos. Verificou-se ainda, a falta de conhecimento teórico e prático para aplicação de práticas e ferramentas *Lean* e *Green* em empresas de pequeno porte. Essas práticas, alinhadas com gestão eficiente, podem aumentar a competitividade dos pequenos negócios.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnicas. **ABNT NBR 13230: Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis** — identificação e simbologia, Rio de Janeiro, 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnicas. **ABNT NBR ISO 1400: Sistema de gestão ambiental: especificação e diretrizes para uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Índices de reciclagem mecânica de plásticos pós-consumo no Brasil - Abiplast**. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/publicacoes/pesquisa_reciclagem_picplast/. Acesso em: 14 fev. 2023.

ABREU, M. F. *et al.* Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production. **Energy**, v. 137, p. 846-853, 2017.

BARBOSA, F. A.; ASSUMPÇÃO, M. R. P. Lean & Green: Quanto às suas práticas são compatíveis? **Revista de Ciência & Tecnologia**. v.19, n. 37, p. 57-67, 2016.

BARBOSA, M. F. F. **Análise do uso de embalagens plásticas de insumos em indústria de biscoitos de Arapiraca-AL sob a ótica das práticas Lean e Green**. 2023. 103 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) — Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Instituto Federal de Alagoas, Arapiraca, 2023. Disponível em: <https://www2.ifal.edu.br/ppgtec/tccs/arquivos/arquivos-tccs-2023/dissertacao-maria-francilania-fontes-barbosa.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BARBOSA, M. F. F.; RAPÔSO, Á. L. Q. R. e S. Aspectos e impactos ambientais das embalagens plásticas de insumos do processo produtivo de biscoitos de fábrica da cidade de Arapiraca-AL. *In: Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Salvador, 2023. Anais [...]. Campinas, Galoá, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq-2023/trabalhos/aspectos-e-impactos-ambientais-das-embalagens-plasticas-de-insumos-do-processo-p?lang=pt-br>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BARBOSA, M. F. F.; RAPÔSO, Á. Luiza Q. R. e S. Análise do uso de embalagens plásticas de insumos em indústria de biscoitos de Arapiraca-AL sob a ótica das práticas Lean e Green. *In: Encontro de Sustentabilidade em projetos*, Belo Horizonte, 2024. **Anais [...]**. Florianópolis: Ed. dos Autores, 2024. p. 1067-1076. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256951?show=full>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BENSON, N. U.; *et al.* COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint. **Heliyon**, v. 7, n. 2, 2021.

BRASIL. **Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília-DF, 2 ago. 2010.

BRASIL. **Decreto nº 12.082, de 27 de junho de 2024, institui a Estratégia Nacional de Economia Circular**. Brasília, DF, 27 jun. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D12082.htm. Acesso em: 11 ago. 2024.

CARVALHO, J. S. *et al.* Reflexões sobre embalagens de alimentos e sustentabilidade. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 586—597, 2021.

CHAMOUN, R. **Ideia de negócios**: como montar uma fábrica de biscoitos. Brasília: SEBRAE. 2017.

CHOUDHARY, S.; NAYAK, R.; DORA, M.; MISHRA, N.; GHADGE, A. An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the U.K. **Production Planning & Control**, v. 30, n. 5-6, p. 353-368, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501811>.

CONCEIÇÃO, M. M. *et al.* O plástico como vilão do meio ambiente. *Revista Geociências - UNG-Ser*, v. 18, n. 1, p. 50, 2019.

FARIAS, L. M. S. *et al.* Uma revisão sistemática da literatura sobre o relacionamento entre as abordagens Lean e Green. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2017, Joinville. **Anais [...]**. Joinville: ENEGEPE, 2017.

FERIGATTO, E. A. *et al.* A integração das Práticas Lean e Green. **Revista SODEBRAS**, São Paulo, v. 12, n. 144, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320471897>.

FERREIRA, MC; SILVA, JSG da. Embalagens biodegradáveis: um estudo sobre as vantagens e vantagens no setor de alimentos. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, [s. l.] , v. 3, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatorio-latinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/3659>. Acesso em: 11 ago. 2024.

GARZA-REYES, J. A. Lean and green — a systematic review of the state of the art literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 18—29, 2015.

HUSSAIN, M. A.; MISHRA, S.; AGRAWAL, Y.; RATHORE, D. A comparative review of biodegradable and conventional plastic packaging. **Interactions**, v. 245, p. 126, 2024.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Técnicas de Pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2021.

LANDIM, A. P. M. *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, p. 82—92, 2016.

LEE, J. *et al.* Aplicação de mapeamento do fluxo de valor orientada para a sustentabilidade: uma revisão e classificação. **IEEE Access**, 2021. Disponível em: 10.1109/ACCESS.2021.3077570.

JAMIL, N. *et al.* Abordagem baseada em DMAIC para mapeamento de fluxo de valor sustentável: rumo a um sistema de produção sustentável. **Economic Research -EkonomskiIstraživanja**, v. 33, n. 1, p. 331-360, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1715236>. Acesso em: 04 ago. 2024.

McAloone, T.; Bey. **Melhoria ambiental por meio do desenvolvimento de produtos** - um guia. Universidade de São Paulo, 2013.

MEJIA, C.; KAJIKAWA, Y. The Academic Landscapes of Manufacturing Enterprise Performance and Environmental Sustainability: A Study of Commonalities and Differences. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 7, p. 3370, 24 Mar. 2021.

MITTAL, V. K. *et al.* Adoption of Integrated Lean-Green-Agile Strategies for Modern Manufacturing Systems. **Procedia CIRP**, v. 61, p. 463–468, 2017.

MORAES, J. *et al.* Produção mais limpa como ferramenta para o diferencial competitivo em empresas de pequeno porte: um apanhado geral e análise dos principais pontos da ferramenta. **Revista Internacional de Gestão Científica e Turismo**, [s. l.], v. 2, 2024. Disponível em: <https://ojs.scientificmanagementjournal.com/ojs/index.php/smj/article/view/736>. Acesso em: 11 ago. 2024.

PICPLAST. **Estudo encomendado pelo PICPlast mapeia a indústria de reciclagem do plástico no Brasil**. Disponível em: <https://www.picplast.com.br/detalhe-noticia/estudo-encomendado-pelo-picplast-mapeia-a-industria-de-reciclagem-do-plastico-no-brasil>. Acesso em: 05 fev. 2023

REGO, R. I. A.; VIALTA, A.; MADI, L. F. C. **Biscoitos industrializados: nutrição e indulgência na cultura alimentar**. 1. ed. São Paulo: BB Editora, Abimapi, 2020.

SANTOS, D. L. **Barreiras e direcionadores na aplicação do Lean e Green**. Orientadora: Lucila Maria de Souza Campos. 2018. 92 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SINDIPLAST. Tipos de Plásticos » Sindiplast. Disponível em: <https://www.sindiplast.org.br/tipos-de-plasticos/>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SCHLICKMANN, P. H. **A produção brasileira de embalagens plásticas inovadoras para a indústria de alimentos**. Orientador Carlos José Espínola, 2018. 210 p. Tese (doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências humanas, Programa de pós graduação em geografia, Florianópolis, 2018.

TEIXEIRA, M. *et al.* **A indústria de transformados plásticos**. 1. ed. — São Paulo: Sindicato dos Químicos de São Paulo, 2017. 108 p.

VERMA, N.; SHARMA, V. Implementing Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM) in manufacturing industry. **Elementary Education Online**, v. 20, n. 6, p. 644-656, 2021. Disponível em: <http://ilkogretim-online.org>. Acesso em: 04 ago. 2024.

TRANS VERSO

04 **Fabricação digital de modelos e protótipos: elementos de conexão para peças planas e cilíndricas**

recebido em 26/08/2024
aprovado em 26/09/2024

Fabricação digital de modelos e protótipos: elementos de conexão para peças planas e cilíndricas

Lívia Brito da Cruz
livia.brito@usp.br
Universidade de São Paulo

Tomás Queiroz Ferreira Barata
barata@usp.br
Universidade de São Paulo

Camilla Martins Freire
camilla_martins@usp.br
Universidade de São Paulo

Cyntia Santos Malaguti de Sousa
cyntiamalaguti@usp.br
Universidade de São Paulo

Mariana Rodrigues Rizzi
marodriguesrizzi@usp.br
Universidade de São Paulo

RESUMO (PT): A fabricação digital tem se tornado cada vez mais presente no dia a dia das pessoas, impulsionada pela compatibilização com os softwares de desenho técnico e modelagem 3D. O presente artigo foi elaborado com o objetivo de investigar a utilização de processos de fabricação digital com tecnologias aditivas na produção de modelos e protótipos de elementos de conexão para peças planas e cilíndricas, visando o seu uso em mobiliários, objetos decorativos e estruturas arquitetônicas leves. Os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa exploram tecnologias de manufatura digital, softwares de modelagem paramétrica e processos convencionais de marcenaria para a produção experimental de elementos de conexão geométricos e orgânicos, assim buscando o aproveitamento de pequenas peças, de madeira bruta, refiladas e torneadas, bambu e outros materiais compatíveis. A pesquisa busca contribuir significativamente para o entendimento das possibilidades e limitações dessas tecnologias, destacando a importância da sustentabilidade e da inovação no design de produtos.

Palavras-chave: fabricação digital, tecnologias aditivas, prototipagem, conexões, modelagem paramétrica.

ABSTRACT (ENG): Digital fabrication has increasingly become part of people's daily lives, driven by compatibility with technical drawing and 3D modeling software. This article was created with the aim of investigating the use of digital fabrication processes with additive technologies in the production of models and prototypes of joints for flat and cylindrical elements, with a focus on their application in furniture, decorative objects, and lightweight architectural structures. The methodological procedures adopted in the research explore digital manufacturing technologies, parametric modeling software, and conventional woodworking processes for the experimental production of geometric and organic connection elements, thereby seeking to make use of small pieces of trimmed and turned raw wood, bamboo, and other compatible materials. The research aims to significantly contribute to the understanding of the possibilities and limitations of these technologies, highlighting the importance of sustainability and innovation in product design.

Keywords: digital fabrication, additive technologies, prototyping, joints, parametric modeling.

1. Introdução

A fabricação digital passou por um grande desenvolvimento ao longo das últimas três décadas, com a modernização de equipamentos e softwares que trabalham com precisão e eficiência em escalas cada vez maiores. Estes softwares com tecnologia CAM (*Computer Aided Manufacturing*), antes desenvolvidos especificamente para controlar os processos das máquinas, passam a ser compatíveis com formatos utilizados em softwares de desenho digital e modelagem 3D (Scheeren, 2021). Com os avanços na área de representação gráfica, o modelo digital tridimensional passou a ser imbuído de todos os parâmetros necessários para a sua posterior fabricação, e com isso cria-se a possibilidade de desenvolver modelos e protótipos com alto nível de precisão dimensional, de forma rápida e precisa, estimando custo, tempo de produção e quantidade de matéria prima de forma muito mais acurada.

Com a expansão dos *Fab Labs* pelo território nacional, o acesso a máquinas CNC (*Computer Numeric Control*) e FDM ou FFF (Modelagem por Fusão e Deposição ou *Fused Filament Fabrication*), a fabricação digital passa a fazer parte de um processo de democratização da fabricação e da distribuição de produtos, possibilitando aos pequenos artesãos a criarem protótipos de seus artefatos, se tornando parte da cultura DIY (*Do it Yourself*). Além de oferecerem assistência técnica, os *Fab Labs* são espaços de compartilhamento de conhecimentos e experiências, promovendo oficinas e cursos de capacitação profissional.

Aliada a um planejamento adequado, a fabricação digital pode colaborar para o desenvolvimento sustentável, ao levar em consideração aspectos da criação, produção, comercialização, uso e descarte dos artefatos fabricados (Barros, 2011). Sendo mais adequada à produção sob demanda do que à escala industrial, ela permite um maior controle das etapas produtivas, com pouca geração de resíduo, oferecendo também a possibilidade de adequar o material às necessidades de cada projeto, prolongando a vida útil do artefato, ou tornando-o reciclável ou biodegradável (Sampaio, 2018).

Ao pensar o processo produtivo em conjunto com a sustentabilidade, despontou-se, também, a ideia de economia circular. De acordo com a entidade *Ellen MacArthur Foundation* (2021), a economia circular é baseada em três princípios orientados pelo design: eliminar resíduos e poluição, circular produtos e materiais (em seu maior valor) e regenerar a natureza. Portanto, tentando manter-se em conformidade com esses princípios, foram adotadas, para o desenvolvimento da pesquisa, as tecnologias de fabricação digital, dadas as suas altas capacidades de simulação, de personalização e de otimização de processamento.

Esta pesquisa, sendo grande parte realizada dentro do que foi o primeiro *Fab Lab* do Brasil (Scheeren, 2021), localizado no edifício anexo à FAUUSP (Faculdade de Arquitetura Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo), o atual STMEEC (Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas), demonstra um pouco do que pode ser feito com o uso de algumas das máquinas de fabricação digital presentes em um desses laboratórios, sendo elas as Impressoras 3D para peças pequenas (até 40cm x 40cm x 40cm). Tem como seus principais objetos de análise os elementos de junção de chapas e barras roliças, que, juntamente à modelagem paramétrica, podem ser usados para os mais diversos fins e escalas, como, por exemplo, objetos de decoração, mobiliário e estruturas arquitetônicas.

2. Procedimentos metodológicos

O método de pesquisa utilizado para o presente artigo pode ser demarcado por duas grandes fases, a primeira, teórica, de leitura e revisão bibliográfica e, a segunda, majoritariamente prática, de projeto e produção de modelos de conectores.

2.1 Revisão bibliográfica

Para a fase de revisão bibliográfica foram explorados principalmente os seguintes tópicos: a) desenvolvimento da fabricação digital ao longo das últimas décadas (Scheeren, 2021); b) sustentabilidade e economia circular ligadas ao processo produtivo (Barros, 2011); c) uso de softwares de modelagem ligados à fabricação digital (Sass *et al.*, 2007); d) raciocínio projetivo com auxílio de ferramentas de fabricação digitais (Scheeren, 2021); e por fim, e) estudo de conexões para peças de madeira (Jackson, 1995) (Magrisso *et al.*, 2018). Entre os textos utilizados estão outros artigos científicos, teses, dissertações e capítulos de livros que possibilitaram a compreensão dos temas e revelaram a relevância de cada um dos tópicos para justificar e fundamentar a elaboração da etapa seguinte.

2.2 Projeto, modelo e prototipagem dos elementos de conexão

Para dar início a fase de projeto foram levadas em consideração as peças menores de madeira resultantes do refinamento ou torneamento da madeira de poda urbana, para as quais foram realizados rascunhos e desenhos manuais de conexões que permitissem seu melhor aproveitamento. Posteriormente esses rascunhos foram modelados por meio de softwares como *Rhinoceros 3D* (com o seu plugin: **Grasshopper**) e o *Fusion 360*, que permitiram avaliar sua aparência, funcionalidade e possibilidade de prototipagem. Para essa avaliação produziram-se as primeiras versões dos modelos digitais na extensão stl., sobre as quais foram feitas simulações de impressão 3D, com o software *Repetier-Host*. A partir dos resultados dessas simulações efetuaram-se alterações nos modelos digitais com o propósito de otimizar o tempo de produção e reduzir o uso de matéria prima. Com as versões atualizadas foram realizadas novas simulações, para, então, partir para a última etapa, a de prototipagem, que consistiu na produção de modelos físicos com impressões 3D em filamento PLA e ABS nas escalas 1:1.

Após o processo de prototipagem, visando entender quais peças apresentaram uma melhor reprodutibilidade e custo-benefício, foram analisadas as seguintes variáveis: a) número de conexões; b) tamanho dos conectores; c) comprimento linear de filamento (com e sem pontes); d) tempo estimado de impressão; e) custo aproximado de PLA por peça. Os resultados então foram compilados em uma tabela para melhor visualização e análise.

3. Resultados

Durante o processo de produção das conexões foram realizados diversos modelos de conexões que, por sua vez, foram divididos em três grandes grupos: conexões para planos, conexões para peças cilíndricas ligadas a um eixo central e conexões para peças cilíndricas sobrepostas.

3.1 Modelos e protótipos de conexões para planos

Foram realizadas experimentações de dois tipos de conectores para chapas. O primeiro deles foi um conector de canto, que une três chapas adjacentes colocadas a um ângulo de 90° umas às outras. Sua concepção deu-se, inicialmente, com esboços, seguidos pela modelagem 3D realizada no Fusion 360, e, logo depois, optou-se por realizar a parametrização do conector, pensando em facilitar sua reprodução em diferentes tamanhos. A parametrização foi realizada no *Grasshopper*, plugin do software *Rhinoceros*, e, concomitantemente a esse processo, com o objetivo de associar formas orgânicas ao conector, foi aplicada uma textura sobre o protótipo, baseada no diagrama de *Voronoi*. Por fim, foram realizadas algumas tentativas de impressão 3D da peça.

Na primeira tentativa, foi impressa uma peça de tamanho 8 x 2 cm (base x altura), entretanto, a espessura definida para a linha (1.5 mm) foi muito pequena para a saída de filamento da impressora utilizada, isso combinado a quantidade muito alta de furos (600) da textura impossibilitaram a impressão adequada da peça e deixaram-na fragilizada ao ponto de não ser possível retirar as próprias pontes (filamentos de apoio), que são geradas automaticamente. Um segundo modelo foi elaborado, ajustando a espessura da linha para 3 mm e diminuindo a quantidade de furos na textura de 600 para 130. A peça foi impressa com tamanho 10 x 2 cm (base x altura), entretanto foi possível visualizar a reincidência de um dos problemas citados. A textura do protótipo foi impressa com uma melhor definição, mas continuava frágil, impossibilitando a retirada dos filamentos de apoio. Na Figura 1, a seguir, é possível verificar cada uma das etapas de produção do protótipo.

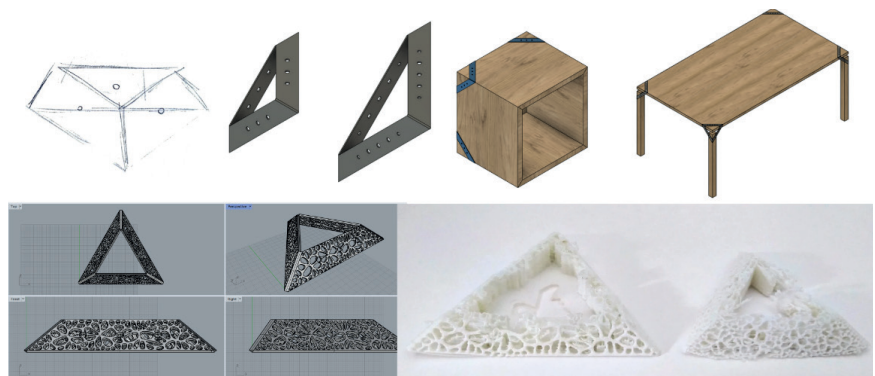


Figura 1 – Fotos dos esboços e modelos digitais e físicos do conector de canto. Fonte: elaborado pelos autores.

Constatando-se que não compensava investir mais tempo em um modelo de conexão de tão baixa resistência, deu-se início, então, à modelagem virtual de um segundo tipo de conector de chapas, denominado pelas autoras de “conector laço”. A geração do modelo ocorreu partindo dos esboços e seguindo diretamente para a modelagem paramétrica com o *Grasshopper*. Na primeira impressão as medidas escolhidas para o protótipo foram de 5 x 2 cm, com 2 mm de espessura. A primeira peça, feita com filamento PLA, foi impressa horizontalmente, ocasionando a formação de pontes. Elas foram retiradas com o auxílio de um estilete e é possível ver na peça final as rebarbas dos filamentos de apoio em uma das faces. Para a segunda impressão sugeriu-se imprimir a peça verticalmente, a fim de evitar a formação de pontes e o desperdício de filamento. Observou-se nesse caso que, além de gerar quase nenhum resíduo de filamento, o protótipo obteve um melhor acabamento.

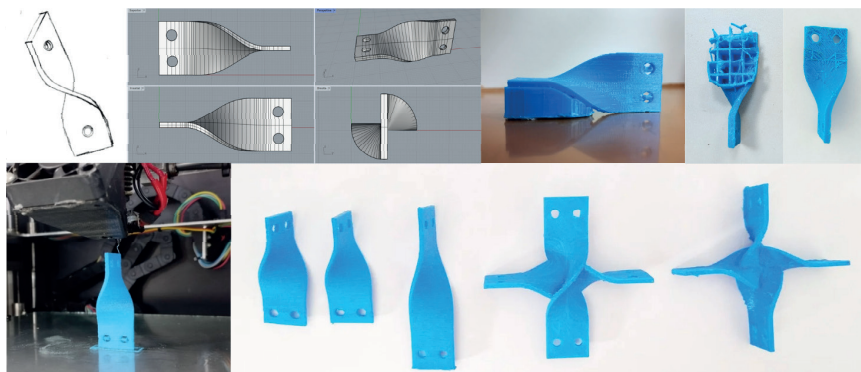


Figura 2 – Fotos dos esboços e modelos digitais e físicos dos conectores laço. Fonte: elaborado pelos autores.

3.2 Modelos e protótipos de conexões para peças cilíndricas ligadas a um eixo central

Em paralelo aos conectores para chapas, foram elaborados projetos de modelos de conexões para peças cilíndricas, que buscavam conectar as peças em diferentes ângulos, ligando-as a um eixo central. Dessa forma, as conexões permitiriam melhor aproveitamento de materiais como a madeira torneada e o bambu para a criação de mobiliário, decorações ou até mesmo estruturas arquitetônicas.

Após os primeiros rascunhos feitos à mão, deu-se início o processo de modelagem 3D. As primeiras tentativas partiram do SketchUp, que logo se mostrou limitado para esse tipo de trabalho. Ademais, cada teste resultava na criação de um novo modelo, prolongando desnecessariamente o tempo de modelagem. Para otimizar todo o processo, foi utilizado então o software *Rhinoceros 7*, e seu plugin *Grasshopper* para gerar modelos paramétricos.

O primeiro modelo paramétrico dessa pesquisa foi pensado, a princípio, para conectar seis peças de cerca de 25 mm de diâmetro, sendo três peças superiores e três inferiores, em ângulos regulares de 60° entre si e inclinação de 30° com o eixo vertical, conforme Figura 3. A parte superior é rotacionada em relação a inferior, permitindo o alinhamento das saídas. A peça tem como sua principal base na modelagem digital a ferramenta *multi pipe*, encontrada nas últimas versões do software, que forma tubos em torno de linhas e os conecta por meio de uma transição suave. Alterando a direção e a quantidade de linhas, portanto, pode-se alterar o modelo base.



Figura 3 – Modelo de conexão com superfície vazada. Fonte: elaborado pelos autores.

Para conferir leveza à peça e reduzir a quantidade de material utilizado, foi aplicada uma textura vazada na superfície. A primeira tentativa, porém, resultou em um modelo muito frágil e inadequado para sua posterior

impressão. Na segunda tentativa de imprimir o modelo, produziu-se uma amostra menor, para conexão de até três peças a 90° (eixos X, Y e Z), apresentada na Figura 4. Esse modelo foi feito dividindo a superfície da peça em triângulos, e buscando manter certa espessura. A peça foi impressa com sucesso, resultando em um bom acabamento, porém gerando muitas bases de apoio, revelando a importância do posicionamento adequado do modelo para a economia de material. Outro fato percebido foi a distorção das bordas, que com a nova textura produziu chanfros que reduziram em cerca de 2 mm o diâmetro interno após a impressão.

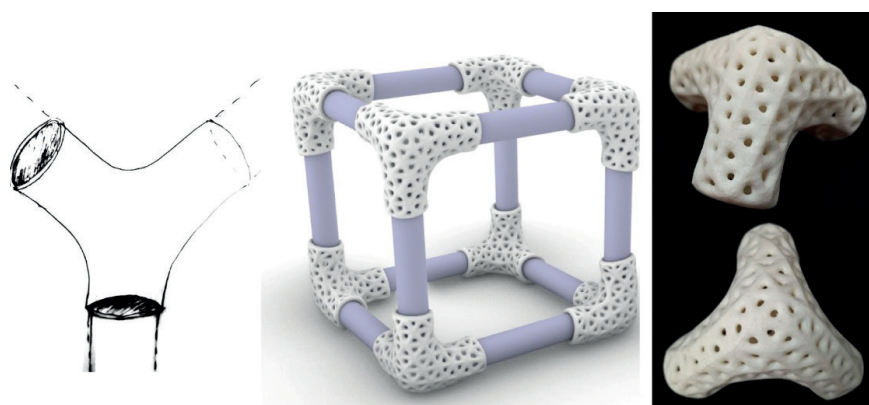


Figura 4 – Conexão para três peças cilíndricas. Rascunho, modelo digital e modelo impresso. Fonte: elaborado pelos autores.

Partindo do primeiro modelo impresso, realizou-se um segundo modelo, possibilitando o encaixe das 6 peças, agora utilizando uma textura de superfície seguindo um padrão baseado no diagrama de *Voronoi*, buscando atribuir uma aparência mais orgânica à conexão, como é possível verificar na Figura 5. Apesar do modelo ser adequado para impressão segundo as simulações, devido às especificidades da máquina, o tempo para realização do processo foi surpreendentemente longo e a quantidade de pontes criadas para a sustentação das áreas vazadas também foi enorme, o que geraria desperdício.

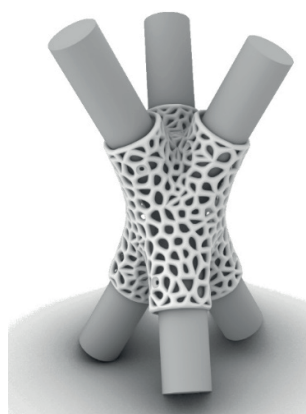


Figura 5 – Conexão com textura de superfície baseada no diagrama de Voronoi. Fonte: elaborado pelos autores.

O projeto então foi readequado e otimizado. Além de retirar a textura, novos parâmetros foram incluídos, permitindo o controle do diâmetro de cada uma das saídas da conexão. A Figura 6 ilustra os principais parâmetros do modelo.

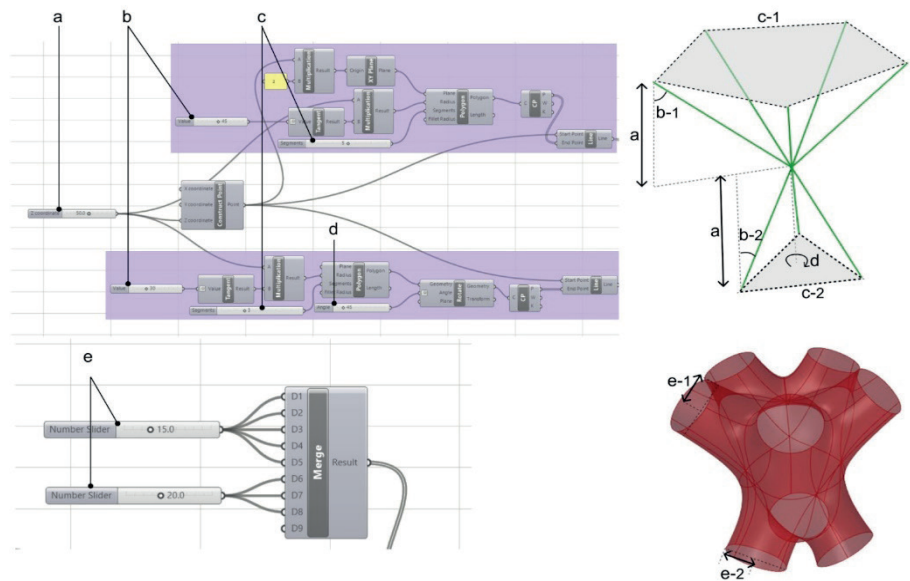


Figura 6 – Parâmetros do modelo: a) distância vertical até o eixo do modelo; b) ângulo das saídas em relação a vertical; c) número de conexões, determinado por meio do número de vértices dos polígonos regulares da base e do topo; d) Rotação das saídas em relação ao eixo; e) raio das peças a serem conectadas. Fonte: elaborado pelos autores. Fonte: elaborado pelos autores.

Sem áreas vazadas na superfície, o tempo de impressão foi reduzido, assim como o número de pontes necessárias para a impressão do modelo. A Figura 7 apresenta algumas das variações obtidas a partir do modelo.



Figura 7 – Modelos digitais e impressões 3D. Fonte: elaborado pelos autores. Fonte: elaborado pelos autores.

3.3 Modelos e protótipos de conexões para peças cilíndricas sobrepostas

Outra opção de conector para peças roliças foi projetada a partir da noção de design para desmontagem (*Design for Disassembly*) (Rios *et al.*, 2015) que permitisse um alto nível de personalização do produto final, assim como a possibilidade de montar e desmontar o objeto produzido de maneira não destrutiva. O conector exploraria eixos de movimentação paralelos e rotacionais entre duas peças cilíndricas a partir da junção de ambas em diferentes ângulos. Essa noção de movimento permitiria um range diversificado de subversões espaciais pelo usuário final.

A primeira rodada de rascunhos (*roughs*) fundamentou uma versão simples da conexão modelada no software *Fusion 360* a partir da extrusão de formas bidimensionais, método adotado pelo programa de CAD (*Computer Aided*

Design). Na primeira versão modelada, tentou-se desenvolver uma espécie de braçadeira que envolvesse o corpo de madeira torneada. Nesse caso, uma tira de material maleável envolveria um corpo projetado e criaria tensão entre o conector e a peça de madeira. Entretanto, a ideia não foi levada adiante, pois apresentava um baixo nível de detalhamento funcional. A Figura 8 mostra cada etapa de produção desse protótipo.

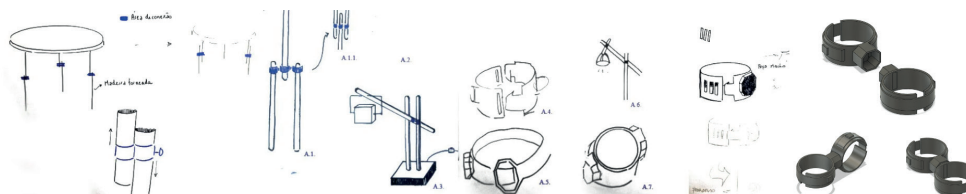


Figura 8 – Fotos dos esboços e do modelo digital do conector “braçadeira”. Fonte: elaborado pelos autores.

Ademais, observou-se que a adoção de uma peça única com as saídas fêmea e macho em extremidades opostas possibilitaria um número maior de viabilidades de montagem com um tipo único de peça. Após modelada, a versão 2 foi submetida à impressão 3D. Com uma máquina de impressão da marca Sethi 3D e filamento ABS, um protótipo de 43 milímetros de diâmetro foi impresso em cerca de 52 minutos. Na impressora de modelo S3, usada para a impressão do protótipo, a mesa é estática, o que diminui as possíveis vibrações que comprometem a qualidade do produto final.

Os protótipos da versão 2 foram impressos em duplas para que houvesse interação passível de análise crítica da conexão entre as peças. Em uma das conexões foi aberta uma fenda com o objetivo de explorar a quantidade de tensão que a peça suportaria, uma vez que ela deveria “abrir” alguns milímetros para abraçar o cilindro de madeira. Constatou-se que o ABS cumpre essa função satisfatoriamente e o material é flexível o bastante para que ceda uma abertura e posteriormente volte a sua forma original. Na Figura 9 é possível visualizar a modelagem digital e a impressão 3D do conector.

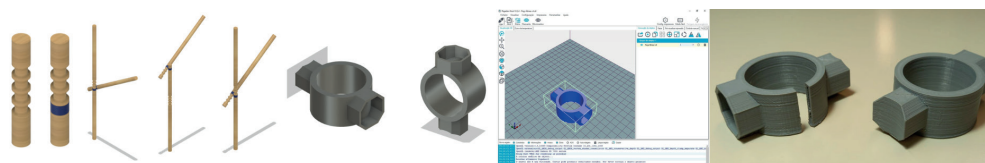


Figura 9 – Fotos do esquema de conexão e do modelo digital e físico. Fonte: elaborado pelos autores.

4. Análises dos resultados

A partir da pesquisa inicial foi constatada o quão vastas eram as possibilidades de trabalho na área de experimentações com tecnologias de fabricação digital, sendo necessária a delimitação do campo de estudo logo de início, a de criação de modelos com prototipagem. Dentro da categoria de modelagem de protótipos, foi elaborada uma pesquisa mais aprofundada na área de junções de peças e conexões. Foi necessário testar os limites das máquinas de impressão 3D e readequar os projetos digitais pelo menos duas vezes (para cada tipo de conector) em cada um dos casos. A maioria dos modelos passou por vários ajustes antes de finalmente serem impressos. A nível de exemplificação, o conector 9, da Tabela 1, precisou passar por 3 adequações no arquivo até chegar nesse modelo.

Com o tempo limitado e as máquinas apresentando inconsistências em seu funcionamento, o trabalho acabou seguindo pelo caminho da simplificação, buscando o menor tempo de produção, redução no uso de materiais, menor custo, e, conseqüentemente, os modelos foram se tornando cada vez menos elaborados conforme a pesquisa avançava. Se por um lado a aparência final foi prejudicada por esse processo, por outro, a sua capacidade de reprodutibilidade foi aumentada, permitindo maior adequação aos mais diversos tipos de projetos, em diversas escalas.

	Conectores	Número de Conexões	Tamanho dos conectores [cm]	Comprimento linear de filamento [m] (sem pontes)	Comprimento linear de filamento[m] (com pontes)	Tempo estimado de impressão	Custo PLA por peça (R\$0,75 / m)	Observações
1		3	10,2 x 8,9 x 1,9	4,25	7,2	1h02m	R\$ 5,40	Falha na impressão
2		4	7,5 x 7,5 x 2	2,17	3,57	0h29m	R\$ 2,68	Excesso de pontes
3		4	7,5 x 7,5 x 2	2,26	2,73	0h23m	R\$ 2,05	
4		2	2 x 2 x 7,5	1,13	1,13	0h32m	R\$ 0,85	
5		2	2 x 2 x 5	0,76	0,76	0h22m	R\$ 0,57	
6		6	5,8 x 5,5 x 7,3	6,04	7,17	1h58m	R\$ 5,38	Falha na impressão
7		6	7,9 x 7,4 x 10,7	11,88	12,13	2h21m	R\$ 9,10	Falha na impressão
8		3	8,6 x 9,3 x 5,5	10,59	13,73	1h56m	R\$ 10,30	Excesso de pontes
9		6	6,2 x 5,7 x 8,3	9,47	10,67	1h24m	R\$ 8,00	
10		8	8,8 x 8,8 x 8,8	19,12	24,38	3h01m	R\$ 18,29	Custo elevado
11		2	6,4 x 4,3 x 2,4	4,4	4,86	0h35m	R\$ 3,65	

Tabela 1 – Dados da simulação de impressão e custo por peça. Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados contidos acima, acerca do comprimento de filamento e tempo estimado de impressão, foram obtidos a partir do software *Repetier-Host*, que permite a conversão dos arquivos de formato STL para o *G-code*, linguagem utilizada pelas máquinas de impressão. O custo da peça foi calculado a partir do preço de PLA observado no momento de realização da pesquisa (3D Lab, 2024). A partir da tabela percebe-se que os conectores 4 e 5 foram os que geraram menos pontes. O modelo base para os conectores 6, 7, 8, 9, e 10 é o que apresenta maior capacidade de aumento e personalização no número de conexões. Se compararmos os modelos 7 e 9, é possível notar que são modelos semelhantes, o primeiro com textura, o segundo sem textura e medidas um pouco reduzidas. As alterações pontuais realizadas levaram a uma grande redução no tempo de impressão (de 11,6 min/m de filamento para 7,9 min/m), revelando a melhor reprodutibilidade do modelo simplificado.

5. Considerações finais

Para o campo das tecnologias de fabricação digital, esta pesquisa proporcionou um maior aprofundamento nos estudos de modelagem paramétrica, uma compreensão básica sobre a operação de máquinas de impressão 3D, o contato com materiais utilizados em prototipagem de fabricação aditiva, além do aprimoramento do raciocínio projetual.

Por meio das experimentações foi notado que a qualidade dos equipamentos e das tecnologias utilizadas impactam no processo e resultado das impressões. Além disso, a quantidade de pontes geradas em cada modelo foi um fator crítico na determinação do tempo de impressão e acabamento das peças, ademais o posicionamento dos protótipos na mesa de impressão afeta diretamente a formação de pontes e, portanto, também interfere no resultado. Algumas outras questões foram observadas e merecem atenção quanto à etapa projetiva, são elas: a espessura das linhas nos modelos digitais, essas devem estar de acordo com a capacidade da impressora e possuir, no mínimo, o mesmo valor que a espessura do bico da extrusora; e o espaçamento entre linhas ou o diâmetro dos furos no modelo, que devem estar no mesmo grau de precisão da impressora, espaçamentos ou diâmetros com valores menores que aqueles processados pela máquina são involuntariamente preenchidos por filamento.

No artigo foi possível abordar apenas algumas possibilidades de conexões de peças, dois tipos para junções entre chapas e dois para junções entre barra roliças, com algumas variações em cada um deles, mas entre tudo o que foi realizado até esse momento fica claro o potencial de conectores associados à fabricação digital para aplicação no ramo de objetos decorativos, mobiliário e estruturas arquitetônicas.

Referências

BARROS, Alexandre Monteiro. **Fabricação digital**: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. Dissertação (Pós-Graduação em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Glossário da economia circular**. [s. l.: s. n.], 2021. 5 p. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/glossario>. Acesso em: 28 mar. 2024.

JACKSON, Albert; DAY, David. **Good Wood Joints**. HarperCollins Publishers, 1995.

MAGRISSE, S.; MIZRAHI, M.; ZORAN, A. Digital Joinery For Hybrid Carpentry. *In: Proceedings of the 2018 Chi conference on human factors in computing systems*. **Anais [...]**. Nova York: Association for Computing Machinery, 2018, p. 1—11. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173741>.

RIOS, Fernanda Cruz; CHONG, Wai K.; GRAU, David. Design for Disassembly and Deconstruction: Challenges and Opportunities. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 1296-1304, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021402>. Acesso em: 20 maio 2024.

SAMPAIO, C. P. de *et al.* **Design para a sustentabilidade**: dimensão ambiental. Curitiba: Insight, 2018. p. 124.

SASS, Lawrence; MICHAUD, Dennys; CARDOSO, Daniel. Materializing a Design with Plywood. *In: Proceedings of the 25th international conference on education and research in computer aided architectural design in Europe (eCAADe)*, 2007, Viesbade. **Anais [...]**. Bruxelas, 2007. p. 629-636. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17448047> Acesso em: 22 maio 2024.

SCHEEREN, Rodrigo. **Fabricação digital na América do Sul**: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção. 2021. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2021.

3D LAB. **Filamento PLA Speed Premium Branco**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://3dlab.com.br/produto/filamento-pla-branco/>. Acesso em: 26 maio 2024.

TRANS VERSO

05 Contribuições do Design Afetivo para a Sustentabilidade no Design de produtos: uma revisão

recebido em 27/08/2024
aprovado em 27/09/2024

Contribuições do design afetivo para a sustentabilidade no design de produtos: uma revisão

Erik Felipe Caetano da Silva

erikfelipex@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Jocelise Jacques de Jacques

jocelisej@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Clariana Fischer Brendler

clafischer@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO (PT): A sustentabilidade e a durabilidade dos produtos têm sido temas centrais no campo do Design, especialmente em relação ao ciclo de vida dos produtos. Este artigo busca identificar na literatura como vínculos afetivos, respostas emocionais e prazer influenciam a interação entre consumidores e produtos, impactando diretamente sua longevidade, sob a perspectiva da sustentabilidade. Adotando uma metodologia de revisão integrativa, foi possível sintetizar e analisar detalhadamente descobertas de estudos anteriores sobre o tema. O estudo destaca três categorias distintas: desenvolvimento de métodos, modelos e ferramentas; dispositivos tecnológicos inteligentes; e moda com ênfase em aspectos estéticos e simbólicos. Com isso, enfatiza-se a importância de uma abordagem holística que integre aspectos emocionais, sociais e ambientais na criação de soluções de design mais sustentáveis e duráveis.

Palavras-chave: sustentabilidade, extensão de vida de produto, design afetivo, prazer.

ABSTRACT (ENG): Sustainability and product durability have been central themes in the field of Design, especially in relation to the life cycle of products. This article seeks to identify in the literature how emotional bonds, emotional responses and pleasure influence the interaction between consumers and products, directly impacting their longevity, from the perspective of sustainability. By adopting an integrative review methodology, it was possible to synthesize and analyze in detail findings from previous studies on the subject. The study highlights three distinct categories: development of methods, models and tools; smart technological devices; and fashion with an emphasis on aesthetic and symbolic aspects. This emphasizes the importance of a holistic approach that integrates emotional, social and environmental aspects in creating more sustainable and durable design solutions.

Keywords: sustainability, product life extension, affective design, pleasure.

1. Introdução

O consumo de produtos atualmente é baseado em ciclos de vida curtos que reduzem a qualidade da conexão com os usuários e levam a sérios impactos ambientais. A noção de obsolescência planejada, que promove deliberadamente a substituição de produtos independentemente de sua funcionalidade, é adotada por muitas empresas e por usuários interessados apenas nos produtos mais atuais (Lobos; Babbitt, 2013).

Para Chapman (2009), a crise da sustentabilidade é uma questão comportamental, e não simplesmente de tecnologia, produção e volume. As condições comportamentais que impulsionam e influenciam os padrões de consumo de materiais são complexas, mas fundamentais para um envolvimento efetivo com uma agenda contemporânea de design sustentável. Até recentemente, as metodologias de design sustentável raramente tratavam das questões mais fundamentais, como o significado e o lugar de importância que os produtos têm em nossas vidas, bem como a contribuição desses bens materiais para o ser humano.

Conforme a Sustentabilidade tenta abordar muitas dessas questões, a noção de integração do apego emocional ao design oferece uma solução viável para o problema (Lobos; Babbitt, 2013). O Design Emocional aborda conexões entre produtos e usuários que transcendem a forma e a função e muitas vezes podem levar ao prolongamento da vida útil do produto, devido ao aumento dos níveis de prazer e experiência do usuário com o produto (Desmet, Hekkert, 2009).

Refletir sobre o estilo de vida atual, promover a sustentabilidade considerando os princípios do desenvolvimento sustentável, compreender os vínculos afetivos na relação entre usuários e artefatos, e ainda, reconhecer a importância dos afetos e da memória positiva, são elementos essenciais para projetos orientados à sustentabilidade (Torres, 2021). Conforme aponta Cardoso (2012), é fundamental compreender que o ciclo de vida de um artefato se estende muito além do seu uso inicial e até mesmo do seu descarte, o que pode ajudar na conscientização sobre a importância de projetos sustentáveis.

Ao estender a vida útil de um produto, muitos dos problemas ambientais enfrentados atualmente pela sociedade podem ser reduzidos (Lobos; Babbitt, 2013). Neste sentido, o objetivo deste estudo foi identificar na literatura como os vínculos afetivos, emocionais e de prazer entre usuário e artefato contribuem para a extensão do tempo de vida do produto. Para tanto, realizou-se uma revisão bibliográfica integrativa a fim de verificar como as diferentes pesquisas recentes na área abordam o tema.

2. Referencial Teórico

Nesta seção, de modo a embasar a pesquisa, serão abordados os aspectos da dimensão do Design Emocional, Ciclos de prazer e Extensão de vida do produto.

2.1 Vínculos afetivos e sustentabilidade

Acredita-se que a relação entre o usuário e o artefato, quando envolvida com sentimentos e emoções, pode promover um consumo consciente, considerando não apenas as funções práticas, mas também os desejos e necessidades mais subjetivas e imateriais dos usuários (Torres, 2021).

Segundo Papanek (1995), essa conexão representa o lado espiritual do design, que é influenciado pela ética e moral do designer, bem como pela maneira como o objeto é usufruído. No entanto, ressalta-se que os princípios do desenvolvimento sustentável devem ser respeitados, avaliando a seleção de recursos naturais, adotando uma produção limpa e eficiente, programando montagem e também o transporte. Esses princípios foram apresentados por Papanek na década de 1970. Além disso, critérios que considerem os afetos e a memória positiva devem ser considerados como componentes para a responsabilidade ambiental. Logo, identificar os motivos que ocasionam os afetos e a memória positiva na relação entre usuário e artefato e aplicá-los no desenvolvimento de projetos pode ser uma abordagem sustentável, que não se distancia dos princípios do eco design, mas engloba aspectos subjetivos à sustentabilidade (Torres, 2021).

Embora a necessidade de produtos mais duradouros seja amplamente reconhecida, métodos práticos de trabalho, *frameworks* de design e ferramentas que facilitem o desenvolvimento e a integração de tais características emocionalmente duráveis dentro dos produtos são escassos (Chapman, 2009). Isso pode ser uma consequência da natureza aparentemente intangível de considerações relativas à função psicológica, que causam confusão para o designer de produto encarregado de projetar e desenvolver maior longevidade emocional em produtos (Chapman, 2009).

Uma das maneiras que designers identificaram para favorecer o comportamento sustentável e estabelecer vínculos afetivos dos consumidores é através do Design Emocional. Essa estratégia possibilita fortes conexões entre usuários e produtos, que vão além de forma e função, e promove maior vida útil do produto devido à experiência agradável que os produtos oferecem (Lobos; Babbitt, 2013).

É inegável a necessidade de explorar e aperfeiçoar os estudos sobre as experiências emocionais com produtos, sendo necessária uma perspectiva clara sobre como as emoções positivas podem ser experienciadas nas interações das pessoas com os artefatos, considerando as questões hedônicas e emocionais (Desmet, 2003; Porsani *et al.*, 2022). Nesse sentido, estudos recentes têm investigado os fatores estéticos, simbólicos e emocionais e como estes podem influenciar positivamente ou negativamente na escolha de determinado produto pelos consumidores (Mariño *et al.*, 2019; Porsani *et al.*, 2019).

2.2 Princípios e Ciclos de Prazer

O design para vida prazerosa ou hedonismo considera o projeto de produtos e serviços para facilitar experiências e atividades prazerosas de acordo com os valores enraizados na cultura do ser humano (Desmet; Hassenzahl, 2012). A relação de satisfação ou insatisfação do usuário com um produto é um fator relevante pois é o que pode proporcionar uma experiência prazerosa, assim como a manutenção ou descarte do produto.

Alguns autores classificam os tipos de prazeres (Norman, 2004; Jordan, 2000) que podem estar nos aspectos fisiológicos, sociais, de autorrealização, ou intelectual.

Na perspectiva de Norman (2004), as emoções no design, podem ser classificadas de acordo com três níveis de processamento cerebral: (i) o nível Visceral, onde são processadas reações mais primitivas e relacionadas às sensações, formas e texturas de um produto. (ii) O nível Comportamental, que considera a função em si, a facilidade de uso e compreensão do produto.

Por fim, (iii) o nível Reflexivo é bastante amplo e está relacionado com os aspectos simbólicos, culturais e de significados que o usuário considera ao interagir com o produto, considera também a memória e autoimagem do usuário.

Em sua investigação sobre as diferentes fontes de prazer relacionadas aos artefatos, Jordan (1998) afirma que a busca por diferentes tipos de prazer faz parte da evolução humana e da sua relação com os objetos no dia a dia e propõe que os produtos propiciam quatro tipos de prazer a quem os utiliza: (i) prazer físico, relativo ao corpo e os sentidos, envolve toque, som, gosto, cheiro e visão; (ii) prazer social, derivado das relações humanas e o status na sociedade, entram nessa categoria produtos que promovem a interação social ou que mostrem uma distinção; (iii) prazer psicológico, refere-se às relações cognitivas e emocionais e também ao estado psicológico das pessoas durante a interação com determinado produto; (iv) prazer ideológico, trata dos valores e preferências, ligado à cultura, experiências e valores morais. É nessa categoria que se pode incluir a preocupação com a sustentabilidade, quando os usuários optam por materiais não agressivos à natureza, por exemplo.

Na compreensão de Weightman e McDonagh (2003), as pessoas podem obter prazer nas relações com seus artefatos caso estes atendam às suas necessidades funcionais: emocionais, sociais, culturais e aspiracionais; e as necessidades supra-funcionais: representações simbólicas, conexões tribais, referências sub-culturais, ligações emocionais, entre outras.

Russo e Hekkert (2007) apresentam princípios que podem ser fonte de prazer entre usuários e produtos. O princípio de Valores morais compartilhados refere-se à forma como as pessoas gostam de usar produtos por meio dos quais podem compartilhar valores morais e éticos. Nesse sentido, é possível relacioná-lo ao prazer abstrato e ideológico proporcionado pelo consumo ético e sustentável.

A forma como o consumo se dá atualmente na sociedade mudou a relação de prazer possível de ser obtida por meio dos produtos. O prazer é privilegiado através da compra ao invés da posse do produto em si. Wooley (2003) chama essa diferença de ciclos de prazer, diretamente relacionado ao ciclo de vida, e apresenta-os da seguinte forma: (i) A fase de pré-compra é onde há o prazer crescente, com a antecipação de adquirir determinado produto. (ii) A fase do curto termo, onde o usuário aprende a operar um produto pela primeira vez, gerando entusiasmo. Na fase (iii) o produto está sendo assimilado e há uma diminuição do prazer, e começa um julgamento mais crítico do desempenho. Já na fase (iv) é o longo termo, onde a relação passa de prazer a satisfação, ou na fase final, insatisfação, podendo ser frequente pelo usuário ter uma super familiaridade com produto e gerar um aborrecimento. Algumas raras exceções chegam na fase (v), que são os “produtos para a vida”, que possuem uma relação que transcende a função prática, podendo ser pelo apego sentimental, ou histórico com o produto.

2.3 Extensão de vida do produto

A perspectiva ambiental aponta para a importância de estender a vida útil de bens duráveis de consumo, uma vez que a reposição frequente pode gerar resíduos e aumentar o consumo de recursos escassos. Para enfrentar esse desafio, os designers precisam fortalecer a conexão entre o consumidor e o produto durante o processo de desenvolvimento, buscando prolongar o tempo de vida psicológico dos bens duráveis de consumo (Cardoso *et al.*, 2010).

Conforme Chapman (2006) aponta, na maioria das estratégias para prolongar a vida útil dos produtos, a durabilidade é descrita como o uso de materiais resilientes, tecnologias reparáveis e metodologias de engenharia avançadas que reduzem a chance de falhas físicas, tais como a exaustão de circuitos e fraturas de estresse. O uso dessa estratégia traz questionamentos: estão sendo realizados designs de produtos duráveis ou meramente concebidos resíduos mais duradouros? O autor afirma que devem ser desenvolvidas estratégias para a concepção de artefatos emocionalmente duráveis, com a finalidade de envolver o usuário em camadas mais profundas e gradualmente prolongar o vínculo afetivo.

Uma reflexão sobre os padrões de qualidade que regem a produção e o consumo de produtos é necessária diante das questões levantadas sobre a extensão da vida útil dos mesmos. Conforme Manzini e Vezzoli (2002), é essencial que o foco esteja no resultado do produto, ou seja, na satisfação das necessidades e desejos dos consumidores, em vez do usufruto que ele possa proporcionar. No entanto, ao concentrar-se exclusivamente na satisfação imediata do consumidor no momento da compra, o designer tem responsabilidade pela insatisfação pós-compra, uma vez que a decisão de compra é influenciada pelas respostas sensoriais manipuladas pelo designer (Wooley, 2003).

3. Procedimentos Metodológicos

Esta pesquisa consiste em um estudo qualitativo baseado em uma revisão de literatura integrativa. As revisões bibliográficas têm como objetivo organizar, sintetizar e esclarecer as principais obras existentes em uma determinada área, fornecendo citações completas que abrangem a literatura relevante. Essas revisões podem oferecer uma visão geral histórica sobre um tema ou assunto, considerando as publicações em um determinado campo (Vosgeral; Romanowski, 2014). Além de possibilitar a síntese do estado da arte do assunto, conforme Mendes, Silveira e Galvão (2008), o método permite apontar lacunas do conhecimento que necessitam ser preenchidas com novos estudos.

Quanto aos métodos utilizados, foram realizadas adaptações ao processo de revisão proposto por Mendes, Silveira e Galvão (2008). Sendo assim, a pesquisa foi dividida em 6 etapas, conforme pode ser observado a seguir:

1. Identificação do tema e seleção da questão de pesquisa para a elaboração da revisão integrativa;
2. Estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão dos artigos;
3. Definição das informações e categorização dos estudos;
4. Avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa;
5. Interpretação dos resultados;
6. Apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

A revisão se inicia com a definição de uma questão norteadora, para esta revisão foi definida “Como os vínculos afetivos contribuem para a extensão do tempo de vida de um produto?”.

Inicialmente a busca foi conduzida no Portal de Periódicos da CAPES, bem como nas plataformas *Science Direct* e *Scopus*. Foram utilizados os descritores em inglês: "affective design" OR "emotional design" AND "sustainability" AND "product" AND "design". Apesar da exibição dos artigos ter sido diferente em cada uma das plataformas, em todas foram utilizados os mesmos descritores.

Para responder à pergunta foram estabelecidos critérios de inclusão para a seleção dos estudos: artigos empíricos publicados no período de 2018 a 2023, em língua portuguesa, espanhola ou inglesa, com acesso institucional dos pesquisadores ou acesso livre. Os critérios de exclusão contemplam estudos de revisão, visto que o foco são estudos primários, artigos indisponíveis na íntegra, repetidos, escritos em língua estrangeira (exceto inglês ou espanhol), ou não pertencentes ao período pré-estabelecido.

Após aplicados os critérios de inclusão e exclusão nas buscas apresentaram-se os seguintes resultados iniciais: Periódicos da CAPES: 44 artigos; *Science Direct*: 68 artigos; *Scopus*: 17 artigos. Foram lidos os títulos e resumos para verificar a pertinência com o tema da pesquisa. Por fim, apresenta-se na tabela 1 a seguir o quantitativo de artigos selecionados para esta revisão:

Base de Dados	Artigos
Science Direct	3
Scopus	7
Periódicos Capes	5
TOTAL	15

Tabela 1: Artigos selecionados para a revisão. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na seção seguinte serão discutidos os achados dos artigos selecionados.

4. Resultados e Discussão

Nesta seção é apresentada uma síntese dos artigos selecionados. Mais informações sobre os artigos podem ser consultadas na Figura 1 a seguir.

TÍTULO	PERIÓDICO / REVISTA	AUTORES	ANO	PALAVRAS-CHAVE
Smart design of energy-saving and water-saving facilities: a perspective of emotional factors	Journal of Facilities Management	CHIU, K-C.	2022	Sustainability; Structural equation modeling (SEM); Smart design; Affect; Behavior and cognition (ABC) model; Environment; social and governance (ESG); Water-saving facilities
Affective-Blue Design Methodology for Product Design Based on Integral Kansei Engineering	Mathematical Problems in Engineering	LIAN, W.; et al.	2022	-
Sostenibilidad y el Diseño emocional como aliados en el ciclo de vida del producto	Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación	JUAREZ, H. I. R.; BERMÚDEZ, J. A. L.	2022	Diseño emocional; Desarrollo sostenible; Sostenibilidad; Diseño industrial; Ciclo de vida; Ecodiseño; Experiencia de usuario
Hidden power of affective products and environments	Work	SEVA, R.	2022	Affective design; sustainability; Kansei engineering; ergonomics in design; product design
Kawaii! La ternura como herramienta para el diseño emocional y sustentable	Legado de Arquitectura y Diseño	VICTORIA-URIBE, R.; GARCÍA-ALBARRÁN, M.	2022	emotional design; kawaii; sustainability; cuteness
Design para sustentabilidade: contribuições do design reflexivo para a longevidade emocional de produtos de moda	DAPesquisa	ASSUNÇÃO, L.; JACQUES, J.	2021	Moda-Estilo; Design centrado no usuário; Sustentabilidade
Eliciting user preference for quantitative vs. emotional information display in eco-feedback designs	Research in Engineering Design	BAO, Q.; SHAUHAT, M. M.; YANG, M. C.	2021	Product design; User-centered design; Eco-design; Sustainable product use; Emotional design
Integrating aesthetic and emotional preferences in social robot design: An affective design approach with Kansei Engineering and Deep Convolutional Generative Adversarial Network	International Journal of Industrial Ergonomics	GAN, Y. et al.	2021	Aesthetic; Preferences; Social robot; Affective design; Kansei engineering DCGAN
An Ontological Approach of the Cognitive and Affective Product Experience	Frontiers in Neuroergonomics	TAVARES, D. R; et al.	2021	ontological approach; cognitive design; affective design; subjectivity; product experience; black box
Emotional design for smart product-service system: A case study on smart beds	Journal of Cleaner Production	YANG, X, et al.	2021	Smart PSS; Emotional design; Development method; Quantitative calculation; Eye movement tracking
Emotionally Sustainable Design Toolbox: A Card-Based Design Tool for Designing Products with an Extended Life Based on the User's Emotional Needs	Sustainability	WU, J.; et al.	2021	emotionally sustainable design; product design; emotional design; ESD toolbox
Principles of Affective Design in Consumers' Response to Sustainability Design Strategies	Sustainability	AGOST, M-J.; VERGARA, M.	2020	affective design; consumer response; sustainability; product attachment; willingness to keep
A Proposed Framework on the Affective Design of Eco-Product Labels	Sustainability	GUTIERREZ, A. M. J.; CHIU, A. S. F.; SEVA, R.	2020	affect; eco-labels; pre-purchase
The Role of Affective Design in Sustainability	Advances in Intelligent Systems and Computing	JUAREZ, G.	2020	Human factors; Sustainability; Sustainable design; Affective design; Hedonomics; Hedonistic sustainability; Ergonomics
Managing sustainability in the fashion business: Challenges in product development for clothing longevity in the UK	Journal of Business Research Journal	GOWERK, H, et al.	2018	Sustainability; Fashion; Longevity; Product development

Figura 1 – Artigos selecionados. Fonte: elaborado pelos autores.

Os artigos foram agrupados categorizados conforme suas temáticas: i) Métodos, modelos e ferramentas ii) Tecnologias e dispositivos inteligentes e iii) Moda e Aspectos Estéticos e Simbólicos, são discutidos a seguir.

4.1 Métodos, modelos e ferramentas

Há uma evidente necessidade de integração dos modelos de Design Afetivo com o Design Sustentável. Buscando responder “qual o papel do design afetivo na sustentabilidade”, Juarez (2020) discute a necessidade de mais investigações no sentido de integrar modelos de design afetivo no design

sustentável, tendo comprovado o papel do afeto como fator principal nos processos de tomada de decisão dos usuários.

Além disso, traz no seu texto o conceito de Sustentabilidade Hedonística, que enfatiza a integração do desenvolvimento sustentável com resultados positivos para os usuários. O exemplo apresentado é o Incinerador de resíduos *Amager Bakke* situado na capital Copenhague, projetado pelo *Bjarke Ingles Group* (BIG). Relata-se que este caso mudou a percepção geral da gestão de resíduos, que muitas vezes pode trazer uma experiência positiva para a comunidade. O argumento apresentado reforça que ao incorporar métodos do design afetivo no design sustentável, é possível desassociar o conceito de sustentabilidade como um sacrifício a ser feito, e torná-lo algo positivo (Juarez, 2020).

Para Grimaldi (2017) ao empregar a surpresa no design é possível obter experiências com produtos que resultam em apego e baixa probabilidade de descarte rápido. Nesse sentido, em concordância, projetos que evocam diversão e surpresa têm conseguido gerar comportamentos positivos incommuns, conforme Seva (2022). O Design Afetivo se baseia na premissa de que produtos e serviços podem provocar fortes respostas afetivas e podem ser aproveitadas para fins específicos, como aumentar o consumo. No entanto, a autora traz em seu artigo uma discussão sobre os fundamentos teóricos e as aplicações do Design Afetivo para abordar questões contemporâneas de consumo, reciclagem e saúde (Seva, 2022).

Destaca-se que embora o Design Afetivo tenha sido amplamente usado com sucesso para aumentar o consumo e aumentar a satisfação dos usuários em interações com produtos e serviços, seu uso ainda é muito limitado na promoção de objetivos mais altruístas. A experiência emocional pode ser suficientemente poderosa para incitar uma mudança de comportamento e o seu potencial pode ser utilizado para abordar alguns dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) publicados pela Organização das Nações Unidas (ONU), como os objetivos 3 (Boa saúde e bem-estar), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) e 12 (Consumo e produção responsáveis) (Seva, 2022).

Uma questão de sustentabilidade envolve o apego emocional do usuário a um objeto, que depende de seu valor simbólico, não apenas da posse. Quando um objeto tem significado pessoal e individual para alguém, sua sustentabilidade ao longo do tempo é estendida, uma vez que o vínculo emocional pode prolongar seu ciclo de vida (Juarez; Bermúdez, 2022).

Tão crucial quanto a compreensão das implicações dos estados emocionais do usuário durante a interação, é a identificação das origens, particularmente aquelas influenciadas pelo design do produto. Assim, o design de um produto tem a capacidade de elicitar respostas emocionais de forma explícita, manifestando afetos; ou de maneira implícita, por meio de sua estética (Juarez; Bermúdez, 2022).

A sustentabilidade na extensão do ciclo de vida do produto é um tema continuamente estudado na academia. O Design Emocional Durável (DED)¹ é visto como uma solução a longo prazo para estabelecer conexões emocionais sólidas entre pessoas e produtos. No entanto, os frameworks e estratégias atuais do DED não atendem adequadamente à visão dos designers sobre a sustentabilidade emocional na prática do design. É importante que o design emocionalmente sustentável se concentre nas necessidades emocionais dos usuários e que as ferramentas existentes sejam práticas e aplicáveis em um contexto mais amplo (Wu *et al.*, 2021).

1 Original: *Emotionally Durable Design (EDD)*

Para abordar essas questões, Wu *et al.* (2021) desenvolveram uma ferramenta de Design Emocionalmente Sustentável (DES)² por meio de revisão da literatura sobre sustentabilidade emocional e consultas com especialistas. Essa ferramenta foi apresentada na forma de cartões de design, pois os métodos baseados em cartões são considerados mais adequados para a prática de design. A intenção é aplicar essa ferramenta nos processos reais de desenvolvimento de produtos com *Design Thinking*, promovendo uma expansão da literatura existente. A proposta é uma estrutura utilizando os três níveis de Design Emocional (Norman, 2004) e ao apresentar a ferramenta DES na forma de cartões de design, contribui para orientar a prática de design com base em princípios de sustentabilidade emocional. Além disso, a ferramenta pode ser usada não só para orientar a concepção de produtos emocionalmente sustentáveis, mas também para verificar se o produto existente tem as características de sustentabilidade emocional (Wu *et al.*, 2021).

A proposição de um *framework* também foi realizada no estudo de Gutierrez, Chiu e Seva (2020). Os autores trazem o contexto de que houve uma mudança no consumo de sustentabilidade na última década que estimulou novas estratégias para indústrias ecológicas e inovações em produtos. A rotulagem ambiental é uma técnica de marketing usada para informar aos consumidores que uma empresa empregou um processo para proteger o meio ambiente. No entanto, permanece a incerteza sobre a forma como os rótulos ecológicos influenciam os consumidores. Comprar produtos verdes pode despertar emoções nos consumidores, pois quando comprem produtos ecológicos, sentem que estão ajudando a salvar o meio ambiente. Os produtos proporcionam certos benefícios emocionais e, portanto, afetam o humor e o comportamento, aspecto que está diretamente ligado ao nível reflexivo do Design Emocional (Norman, 2004).

O estudo teve como objetivo examinar como os consumidores que diferem em atitudes ambientais respondem aos rótulos ecológicos. Além disso, pretendeu-se determinar a intensidade e o tipo de emoções provocadas por estes tipos de produtos com base num determinado conjunto de emoções pré-compra. Essas emoções ainda são desconhecidas. Por fim, propõe-se o Modelo de Emoção Verde (MEM)³ 2.0 que correlaciona atitudes ambientais, atenção visual a esses rótulos ecológicos, emoção e conveniência de compra de um produto. Este quadro propõe que as atitudes ambientais e a sensibilização dos consumidores são cruciais para que procurem este rótulo ecológico num produto. Estes rótulos ambientais devem ser capazes de captar a atenção dos consumidores e, assim, provocar emoções positivas e levar à compra de um produto ecológico (Gutierrez; Chiu; Seva, 2020).

Como ponto de destaque nota-se que maioria dos participantes não compreendia os rótulos ecológicos fornecidos no estudo, eles os observaram com o objetivo de entender e interpretar as informações. Os participantes sem familiaridade com questões ambientais dedicaram 236% mais tempo à análise dos rótulos ecológicos em comparação com outros participantes (Gutierrez; Chiu; Seva, 2020).

O conhecimento ambiental fornecido pelos rótulos é fundamental para auxiliar os consumidores na compreensão de questões ecológicas, despertando a atenção que pode, por sua vez, resultar em uma maior disposição para contribuir na resolução de problemas ambientais. Consumidores com uma inclinação para o altruísmo ambiental tendem a entender e perceber os rótulos ecológicos. Adicionalmente, as emoções desempenharam um papel importante na média de olhares para os rótulos. Isso valida a afirmação de

2 Original: *Emotionally Sustainable Design (ESD)*

3 Original: *Green Emotion Model (GEM) 2.0*

que, quando os participantes notaram os rótulos ecológicos, eles provocaram respostas emocionais positivas (Gutierrez; Chiu; Seva, 2020).

Ao comunicar aos consumidores os aspectos emocionais positivos de produtos ecologicamente corretos, pode haver um aumento na presença desses produtos no mercado, resultando em melhorias no ambiente global e no bem-estar geral. Este estudo oferece caminhos promissores para as áreas do Marketing Ambiental e Design de Produto, demonstrando que o posicionamento bem-sucedido de produtos verdes como produtos que promovem o cuidado pessoal pode trazer benefícios emocionais aos consumidores. Isso sugere que, para que produtos ecológicos sejam bem-sucedidos, é essencial transmitir os benefícios emocionais aos consumidores, atraindo-os para a compra desses produtos (Gutierrez; Chiu; Seva, 2020).

Ainda no contexto de desenvolvimento de metodologias, Lian *et al.* (2022), trazem a problemática sobre projetos de produtos sustentáveis, que trazem consciência para os usuários sobre a importância da sustentabilidade. No entanto, os produtos sustentáveis ou verdes são geralmente mais caros, apesar das suas vantagens, o que acaba por retardar ou reprimir a aspiração de compra dos consumidores. Esta contradição pode ser resolvida através do Design Azul, que é uma abordagem de design que busca fornecer produtos baseada em uma economia sustentável, saudável, mas barata e acessível, capaz de oferecer mais com menos (Lian *et al.*, 2022).

Este estudo implementa de forma inovadora as ideias de sustentabilidade e da economia azul, bem como a engenharia Kansei em um processo para se criar uma nova metodologia de Design Afetivo Azul⁴ para o desenvolvimento de produtos, ou seja, considera simultaneamente as necessidades das pessoas em termos de afeto, aspectos da sustentabilidade e economia (Lian *et al.*, 2022).

No estudo de Agost e Vergara (2020), foram examinadas as reações dos consumidores em relação às estratégias de design sustentável, levando em consideração os princípios do Design Afetivo. As autoras destacam que o uso do afeto como um impulsionador do comportamento em direção à sustentabilidade ainda é um tema pouco explorado na literatura. O estudo de caso conduzido por elas é um dos primeiros a se concentrar em uma análise abrangente das conexões emocionais entre todos os fatores envolvidos na interação entre o consumidor e o design de produtos sustentáveis. O objetivo principal foi estabelecer uma compreensão sólida da relação entre estratégias de design voltadas para a sustentabilidade, as emoções dos consumidores e suas atitudes em relação ao meio ambiente, tudo dentro de um modelo detalhado no contexto afetivo.

Para isso, formularam um modelo conceitual de reação dos consumidores, no qual há uma diferenciação entre percepções subjetivas e reações de natureza comportamental. Esse modelo foi estabelecido e validado por meio de um experimento. No decorrer do experimento, foram escolhidos seis armários como representantes de diferentes estratégias de design sustentável, sendo elas: remodelagem, adaptabilidade, durabilidade, personalização, manutenção e flexibilidade. O estudo envolveu a avaliação desses armários por 87 participantes, que julgaram 14 aspectos relacionados aos armários, incluindo características de longa duração, funcionalidade, estética, componentes emocionais e questões ambientais, bem como respostas comportamentais, como a afeição pelo produto e a predisposição a mantê-lo (Agost; Vergara, 2020).

4 Original: Affective-Blue Design (ABD)

Como principais resultados destaca-se que as percepções de durabilidade estão mais fortemente ligadas à intenção de manter o produto, enquanto as impressões estéticas têm maior relação com a afeição. As percepções práticas e emocionais apresentam associações com ambas as respostas comportamentais. Ficou evidente que as estratégias de design e as preocupações pessoais exercem influência sobre a resposta do consumidor (Agost; Vergara, 2020).

Os desafios encontrados no campo do Design de Produtos são compartilhados com disciplinas como Engenharia, Marketing e Psicologia, especialmente em relação à interação entre produto e consumidor, contexto de uso e Experiência do Usuário (UX). Conforme Tavares *et al.* (2021) essas abordagens variam, sendo que algumas priorizam as preferências do consumidor, enquanto outras enfatizam os atributos do produto. No entanto, todas buscam entender os aspectos subjetivos da experiência do consumidor, que muitas vezes incluem prazer e agradabilidade, bem como aspectos funcionais e cognitivos dos produtos.

O fortalecimento dessas conexões subjetivas, em particular as afetivas, desempenha um papel fundamental na escolha do consumidor entre produtos concorrentes, influenciando tanto a funcionalidade quanto no prazer oferecido pelos produtos (Tavares *et al.*, 2021). Nesse contexto, conforme atestado pelos autores, devido à inacessibilidade as preferências e intenções do consumidor, que residem em sua mente, cérebro e experiência subjetiva, antecipar esses aspectos é um tanto quanto desafiador. Desta forma, os autores buscaram por meio de um estudo propor uma abordagem abrangente e interdisciplinar para compreender a experiência do consumidor com produtos, usando uma estrutura explicativa e um modelo conceitual. Os resultados iniciais do teste indicam que essa abordagem contribui positivamente para melhorar a compreensão, avaliação e tradução da experiência com o produto (Tavares *et al.*, 2021).

Como resultado ficou evidente a necessidade de abordar de maneira conjunta os aspectos emocionais e cognitivos ao avaliar o design e a experiência com um produto. Sendo notável que as emoções desempenham um papel crucial na percepção subjetiva da qualidade do produto, enquanto o pensamento racional é essencial para as intenções do consumidor e sua decisão final de compra. Os processos simbólicos e reflexivos, tanto emocionais quanto cognitivos, têm o potencial de influenciar significativamente a avaliação de um produto e, portanto, devem ser levados em consideração (Tavares *et al.*, 2021).

4.2 Tecnologias e dispositivos inteligentes

No eixo tecnologias e dispositivos inteligentes ou *smart devices*, estão os artigos que abordam o contexto de experiência do usuário, design emocional, ou mesmo proposição de métodos e abordagens em um contexto com algum tipo de dispositivo tecnológico, por exemplo, displays que forneçam *eco-feedback* (Bao; Shaukat; Yang, 2021), ou ainda um Projeto de instalações inteligentes (*Smart Design*) que economizam energia e água (Chiu, 2022).

O *Eco-feedback* é uma estratégia de design que recorda aos usuários o consumo de recursos enquanto utilizam um produto, com o propósito de estimular comportamentos pró-ambientais ao conscientizá-los sobre o impacto ambiental de seu consumo. A maneira pela qual esses designs apresentam dados sobre o uso de recursos pode influenciar de forma significativa as percepções dos usuários. Nesse contexto, o estudo de Bao, Shaukat e Yang (2021) investiga dois aspectos da apresentação de informações sobre o consumo de recursos, o feedback quantitativo e a capacidade de evocar emoções, e examina 32 projetos relacionados a eletricidade, materiais, transporte e água, através de pesquisas realizadas com 619 estudantes universitários nos EUA e na Arábia Saudita.

Ambos os aspectos, evocação emocional e *feedback* quantitativo, estão positivamente relacionados com a atração percebida do produto e a eficácia percebida em promover comportamentos sustentáveis. A apresentação de dados quantitativos sobre o uso de recursos foi mais eficaz para os entrevistados que tinham uma estimativa precisa do consumo de recursos, enquanto o apelo emocional do design foi igualmente eficaz para aqueles com maior ou menor conhecimento sobre o consumo de recursos. Além disso, observou-se que imagens de seres vivos e sinais visuais marcantes despertaram emoções intensas nos usuários, sendo que as participantes do sexo feminino geralmente reagiram de forma mais acentuada a esse apelo emocional. Esses achados experimentais oferecem valiosas informações sobre como aprimorar o *eco-feedback* no design de produtos, de forma a obter maior aceitação dos usuários (Bao; Shaukat; Yang, 2021).

Os produtos inteligentes normalmente têm um forte apelo tecnológico, mas raramente consideram fatores relacionados ao design emocional, mantendo assim os usuários distantes e sem vínculo. O design emocional ou centrado no ser humano pode aumentar a aderência dos produtos e maximizar o uso do produto. Para incluir fatores emocionais no design de produtos inteligentes, Yang *et al.* (2021) construíram um método de desenvolvimento de cima para baixo (*top-down*) para sistemas de produtos-serviços (PSS) inteligentes.

Primeiro, foi proposto uma teoria de Expansão dos Três Níveis de Design Emocional (ETNDE)⁵, baseado em Norman (2004), para construir uma estrutura de requisitos do usuário. Essa ETNDE expande a Teoria de Três níveis de Design Emocional (TTDE) e pode orientar o design emocional em detalhes. Em segundo lugar, o Processo de Hierarquia Analítica (PHA)⁶ e a Avaliação Abrangente Difusa (AAD)⁷ foram propostos para realizar um cálculo quantitativo para distinguir a influência de cada requisito na prática de design. Por fim, foi projetada uma cama inteligente com fatores emocionais de acordo com as exigências e os pesos dos seus critérios (Yang *et al.*, 2021).

Para avaliar este método de desenvolvimento, no que diz respeito à mitigação da falta de fatores emocionais usados para projetar um PSS *Smart*, foi realizado um experimento de rastreamento ocular no projeto das camas inteligentes, conduzido para verificar a estrutura de requisitos baseada

5 Original: Expanding Three-Level Theory of Emotional Design (ETTED)

6 Original: Analytic Hierarchy Process (AHP)

7 Original: Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE)

na ETNDE e o método de medição de requisitos baseado em PHA e AAD. Os dados de rastreamento ocular incluíram a dilatação das pupilas dos participantes e outros indicadores fisiológicos dos movimentos oculares, o que mostrou que a cama inteligente projetada com base no método de desenvolvimento do PSS *Smart* era mais atraente do que outros produtos similares disponíveis na plataforma *Amazon*. Assim, o método proposto pode ser utilizado como um método de desenvolvimento sistemático para os PSS *Smart* (Yang *et al.*, 2021).

O artigo de Gan *et al.* (2021) aponta que identificar a relação entre a aparência do produto e as preferências do cliente, bem como extrair informações de design no contexto de interação é fundamental nas abordagens de design relacionadas ao afeto. No entanto, devido à complexidade da percepção estética e emocional, a obtenção dessas informações de design a partir do contexto de interação é complexa e desafiadora.

Assim os autores propõem uma abordagem de design afetivo, usando o método de Engenharia *Kansei* (KE) e o que chamam de Rede Adversária Generativa Convolucional Profunda (RAGCP)⁸. Para tanto realizam um estudo de caso com um robô social para verificar a eficácia dessa abordagem. Avaliações de preferência estética e emocional são usadas pelo método KE para identificar características cruciais em duas categorias: características físicas, como forma externa, cabeça e cor, e características emocionais, como inteligência, interesse e agradabilidade. Usando um conjunto de dados de imagens de robôs sociais, o modelo RAGCP gera novas imagens de design, que são então refinadas por designers profissionais (Gan *et al.*, 2021).

Os resultados mostram que os robôs sociais recém-projetados recebem avaliações estéticas e de preferência positivas, indicando que essa abordagem pode auxiliar empresas de design industrial na compreensão das necessidades psicológicas dos clientes e no desenvolvimento eficiente de novos produtos (Gan *et al.*, 2021).

O objetivo do estudo de Chiu (2022) foi investigar as atitudes dos funcionários em relação ao uso de instalações para economia de energia e água em Taiwan, construindo um questionário com base no modelo Afeto, Comportamento, Cognição (ACC)⁹ para pesquisar essas atitudes. O estudo utiliza ainda a Modelagem de Equações Estruturais (MEE)¹⁰ para examinar a relação entre afeto, comportamento e cognição ao usar essas instalações. Os resultados apontam que o Design Afetivo tem um impacto positivo altamente significativo no uso das instalações, destacando a importância do Design Emocional na adoção de produtos de eficiência energética e hídrica. A pesquisa aponta para a necessidade de considerar o design emocional na implementação de instalações de economia de energia e água e destaca o potencial de instalações inteligentes para atrair emocionalmente os usuários, incentivando o uso dessas tecnologias (Chiu, 2022).

8 Original: *Deep Convolutional Generative Adversarial Network (DCGAN)*

9 Original: *Affect, Behavior, Cognition (ABC)*

10 Original: *Structural Equation Modeling (SEM)*

Apesar dessas conclusões, o estudo reconhece algumas limitações, incluindo a natureza psicológica do modelo ACC e a necessidade de envolver profissionais técnicos no desenvolvimento de instalações relacionadas. No entanto, oferece também algumas implicações práticas, como a introdução de abastecimento de água por indução em sistemas de produção inteligente para economia de recursos hídricos. Além disso, ressalta a importância da conveniência na adoção de tecnologias de eficiência energética e hídrica, destacando o valor da abordagem emocional no design de instalações sustentáveis (Chiu, 2022).

4.3 Moda e aspectos estéticos e simbólicos

Nessa seção estão reunidos artigos que abordam o design emocional no contexto da moda (Goworek *et al.*, 2020; Assunção; Jacques, 2021) e também sobre o aspecto estético da moda como ferramenta para o design emocional e sustentável (Victoria-Urbe; García-Albarrán, 2022).

Segundo Goworek *et al.* (2020) todos os estágios do ciclo de vida do vestuário, desde a produção até o descarte, geram impactos no meio ambiente. No entanto, a avaliação do ciclo de vida revelou que prolongar a vida útil das roupas por meio de design, manutenção e reutilização é um método eficaz para mitigar esses impactos. Neste estudo proposto pelos autores, uma abordagem qualitativa foi adotada baseada em entrevistas com stakeholders da indústria de vestuário para investigar a promoção da sustentabilidade por meio do aumento da longevidade das roupas.

Diversas respostas foram analisadas tematicamente, e uma das conclusões mais consistentes foi a importância do aprimoramento de conhecimentos e competências dos profissionais. O estudo sugere que a superação dos desafios associados à extensão da vida das roupas pode ser alcançada por meio do aprimoramento de conhecimentos, competências, processos e infraestruturas, além da implementação de decisões de gestão que eliminem as barreiras à longevidade e capacitem as equipes de desenvolvimento de novos produtos a esse respeito (Goworek *et al.*, 2020).

As empresas de vestuário podem ser relutantes em oferecer uma gama de vestuário mais sustentáveis justificando uma falta de procura por parte dos consumidores, mas a transição para uma indústria ambientalmente sustentável é um processo iterativo, compartilhado entre os varejistas do vestuário, os seus fornecedores e os consumidores. Assim, destaca-se que ampliar a oferta de produtos e serviços é um caminho significativo que as empresas de vestuário podem seguir, indo além da sua oferta existente para satisfazer as necessidades dos clientes com produtos sustentáveis. As organizações também podem repensar a orientação funcional-emocional de uma indústria, que se aplica fortemente ao vestuário com a sua combinação de funcionalidade e ligação emocional (Goworek *et al.*, 2020).

Nesse sentido, Assunção e Jacques (2021) exploram em seu artigo como o nível reflexivo do Design Emocional (NORMAN, 2004) pode contribuir para o aumento da longevidade dos produtos de moda, buscando um cenário mais sustentável por intermédio do despertar de emoções agradáveis e a criação de vínculos afetivos entre os usuários e suas roupas.

A pesquisa explorou estratégias de design reflexivo no contexto do Design Emocional, com o objetivo de criar produtos de moda que evocassem emoções estáveis e duradouras (Assunção; Jacques, 2021). Dentre elas pode-se citar:

- I. Lembrança de memória afetiva: as pessoas normalmente cuidam e guardam as roupas com as quais tem memória afetiva.
- II. Reflexos das experiências de uso: sugere-se aceitar e trabalhar com a ideia de que os produtos mudam conforme são utilizados.
- III. Significado simbólico-social: considerar os significados que são expostos por meio dos produtos de moda para outras pessoas, em um ambiente coletivo.

IV. Compartilhamento de valores morais: as pessoas tendem a criar afeto com produtos através dos quais possam compartilhar valores éticos e morais.

V. Percepção de raridade/exclusividade: peças difíceis de conseguir em razão de disponibilidade tendem a ser mais desejadas e, consequentemente, melhores cuidadas.

VI. Personalização e customização: manifestar um sentido de propriedade e orgulho, auxilia a tornar uma roupa pessoal, qualidade esta que não é transferível para outros sujeitos. A customização segue a mesma lógica de singularidade, com qualidades e características que se vinculam ao usuário.

VII. Marcas que marcam: A eficiente construção de uma marca e do conjunto de princípios que ela pode abraçar tem o potencial de criar conexões emocionais robustas entre indivíduos e suas vestimentas. Dessa forma, as respostas emocionais desenvolvidas com um público por intermédio das marcas podem ser consideradas como instrumentos viáveis para promover a durabilidade dos produtos de moda.

Os designers desempenham um papel importante nessa transição para uma moda mais sustentável, embora não possam garantir vínculos emocionais com produtos, mas, por meio de competências e métodos específicos, podem projetar produtos que despertem ou evitem certas emoções (Assunção; Jacques, 2021).

As pessoas frequentemente se sentem atraídas pela fofura, uma vez que ela evoca sentimentos de proteção, diversão, relaxamento, juventude e/ou nostalgia. Isso estabelece uma conexão emocional e abre possibilidades para a criação de objetos, sejam eles bi ou tridimensionais, que podem transmitir mensagens ou servir a diversas finalidades. O trabalho de García-Albarrán (2022) explora como o conceito de fofura ou *kawaii* pode ser utilizado como uma ferramenta estruturada no processo de concepção de produtos, com o intuito de torná-los mais aceitáveis pelo público, e, eventualmente, aplicá-lo a produtos sustentáveis.

A estética *kawaii* é um termo utilizado na cultura japonesa para se referir a tudo que é adorável, bonito e com traços infantis. O *kawaii* permeia uma ampla gama de objetos de design, abrangendo desde eletrodomésticos até mesmo sinalização, passando por vestuário e espaços arquitetônicos. O autor reforça que compreender os aspectos psicológicos da fofura no design, juntamente com os princípios do *kawaii*, pode ser benéfico para a criação de objetos através do design emocional (García-Albarrán, 2022).

Para projetar um objeto *kawaii* algumas diretrizes podem ser seguidas, conforme sugere García-Albarrán (2022):

- Definir o discurso expressado pelo objeto, o que é especialmente importante em objetos com uma orientação sustentável, mesmo que não necessariamente ecológica.
- Identificar os elementos da mensagem que são apresentados de maneira graciosa, terna, infantil, adorável ou amigável.

- Reconhecer os elementos estéticos que ajudam a criar essa sensação de ternura, como olhos grandes, cabeça grande, extremidades pequenas, cores agradáveis e texturas suaves, muitos dos quais podem ser relacionados com características fenotípicas de bebês humanos e outros mamíferos, que naturalmente evocam sentimentos de proteção.
- Levar em consideração as características culturais gerais do contexto demográfico relacionado ao objeto, as quais influenciam a estabilidade e os efeitos gerados no público-alvo.
- Desenvolver propostas que unam diversos níveis de design emocional para oferecer um discurso não apenas esteticamente atraente, mas também significativo e duradouro.
- Analisar exemplos de sucesso e abordagens adotadas por instituições governamentais e iniciativas privadas em outros países, como o Japão.
- Avaliar os resultados em termos de aceitação e mudanças de comportamento na população exposta a esse discurso.

Seguindo essas orientações, é possível criar um design *kawaii* que desperta diversão e/ou afeição por parte do usuário, promovendo uma maior aceitação por parte do público final.

5. Considerações finais

O presente estudo apresentou uma análise dos vínculos afetivos e sustentabilidade no contexto do design emocional de produtos, empregando uma metodologia de revisão integrativa. Ao explorar a literatura disponível, foram identificadas três categorias distintas que emergiram como áreas de pesquisas: o desenvolvimento de métodos, modelos e ferramentas; dispositivos tecnológicos *smart*; e moda e aspectos estéticos e simbólicos. Essas categorias apresentam um recorte sobre o atual estado do conhecimento e apontam direções para pesquisas futuras na área.

Na categoria de “Métodos, Modelos e Ferramentas”, foi encontrado um corpo de pesquisa focado na criação e refinamento de abordagens e instrumentos que auxiliam os designers na integração de elementos emocionais e sustentáveis em seus projetos. Esses métodos, como o uso de ferramentas específicas e a adoção de *frameworks* conceituais, representam um avanço importante na busca por soluções que harmonizem o prazer do usuário e a redução do impacto ambiental. No entanto, nota-se que o desenvolvimento contínuo desses métodos é crucial para a evolução do campo.

Os “Tecnologias e dispositivos inteligentes” exploram como a tecnologia pode ser empregada para criar produtos que ofereçam experiências significativas e que estejam alinhados com princípios de sustentabilidade. A integração de dispositivos *smart* em produtos do cotidiano apresenta uma promissora abordagem para monitorar o uso e o ciclo de vida dos produtos, oferecendo dados importantes para os fabricantes, consumidores e mesmo para a tomada de decisões de políticas públicas.

A categoria “Moda e Aspectos Estéticos e Simbólicos” destaca a relevância do design emocional no setor da moda e na comunicação de mensagens estéticas e simbólicas. Neste campo, produtos de moda são capazes de transmitir valores emocionais e sustentáveis por meio de seu design, materiais e estilo.

As pesquisas identificadas nessa categoria ressaltam o potencial da moda para inspirar vínculos duradouros entre os consumidores e seus itens de vestuário, ao mesmo tempo que promove práticas mais responsáveis na indústria.

Essas categorias refletem uma compreensão crescente de que a construção de vínculos afetivos entre os consumidores e os produtos é essencial para a promoção da sustentabilidade. À medida que a sociedade busca soluções que satisfaçam as necessidades presentes sem comprometer as futuras gerações, a interligação entre design emocional, vínculos afetivos e sustentabilidade torna-se cada vez mais relevante. O presente estudo, por meio da revisão integrativa, proporcionou uma visão abrangente dessas áreas e oferece uma base para a continuidade da pesquisa e a aplicação prática na concepção de produtos e políticas voltadas para um futuro mais sustentável.

Referências

- AGOST, Maria Jesus; VERGARA, Margarita. Principles of affective design in consumers' response to sustainability design strategies. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 24, p. 1–21, 2020.
- ASSUNÇÃO, Letícia Formoso; JACQUES, Jocelise Jacques de. Design para sustentabilidade. **DAPesquisa**, [s. l.], v. 16, p. 01–19, 2021.
- BAO, Qifang; SHAUKAT, Mian Mobeen; YANG, Maria C. Eliciting user preference for quantitative vs. emotional information display in eco-feedback designs. **Research in Engineering Design**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 53–68, 2022.
- CARDOSO, Cristina Luz *et al.* Extensão de vida do produto: ciclos de prazer e vínculos afetivos. In: **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos**, 2010.
- CHAPMAN, Jonathan. Sustaining Relationships Between People and Things. In: **Design & emotion Conference**, Gothenburg, 2006.
- CHAPMAN, Jonathan. Design for (Emotional) Durability. **Design Issues**, v. 25, n. 4, 29–35, 2009.
- CHIU, Kuei Chen. Smart design of energy-saving and water-saving facilities: a perspective of emotional factors. **Journal of Facilities Management**, [s. l.], 2022.
- DESMET, Pieter; HEKKERT, Paul. Special issue editorial: Design & emotion. **International Journal of Design**, v. 3, n. 2, 2009.
- DESMET, Pieter. A Multilayered Model of Product Emotions. In: **The Design Journal**, [s. l.], 2003.
- GAN, Yan *et al.* Integrating aesthetic and emotional preferences in social robot design: an affective design approach with Kansei Engineering and Deep Convolutional Generative Adversarial Network. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [s. l.], v. 83, p. 103-128, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103128>. Acesso em: 22 ago. 2024.
- GOWOREK, Helen *et al.* Managing sustainability in the fashion business: Challenges in product development for clothing longevity in the UK. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 117, p. 629–641, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.07.021>. Acesso em: 22 ago. 2024.
- GUTIERREZ, Alma Maria Jennifer; CHIU, Anthony Shun Fung; SEVA, Rosemary. A proposed framework on the affective design of eco-product labels. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 8, 2020.
- JUAREZ, Guillermo. The Role of Affective Design in Sustainability. **Springer International Publishing**, [s. l.], v. 968, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-20470-9_11. Acesso em: 22 ago. 2024.
- JUAREZ, H. I. R; BERMÚDEZ, J. A. L. Sostenibilidad y el Diseño emocional como aliados en el ciclo de vida del producto. **Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación**, n. 159, 2022.

LIAN, Wenwu *et al.* Affective-Blue Design Methodology for Product Design Based on Integral Kansei Engineering. **Mathematical Problems in Engineering**, [s. l.], v. 2022, 2022.

LOBOS, Alex; BABBITT, Callie. Integrating Emotional Attachment and Sustainability in Electronic Product Design. **Challenges**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 19–33, 2013.

MARIÑO, Suzi *et al.* Hedonomia e Design Emocional: A importância da aparência (requisito estético; funções simbólica e estética) na seleção de um produto pelos usuários. In: **Anais do 13º Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em Design (2018)**. São Paulo: Blucher, 2019, p. 5180-5193.

MENDES, Karina dal Sasso; SILVEIRA, Renata Cristina de Campos Pereira; GALVÃO, Cristina Maria. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto Contexto Enferm*, Florianópolis, v. 4, n. 17, p.758-764, 2008.

NORMAN, Donald A. *Emotional Design*. New York: Basic Books, 2004.

PORSANI, R. N. *et al.* Reflexões sobre design para emoção: percepções no campo da estética do artefato. **Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación**, v. 1, p. 161-171, 2022.

SEVA, Rosemary R. Hidden power of affective products and environments. **Work**, [s. l.], v. 73, n. s1, p. S5–S14, 2022.

TAVARES, David Ribeiro *et al.* An Ontological Approach of the Cognitive and Affective Product Experience. **Frontiers in Neuroergonomics**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 1–14, 2021.

TORRES, M. L. Project guidelines with a focus on affections and positive memory oriented towards sustainability. **DAT Journal**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 245–265, 2021. Disponível em: <https://datjournal.anhembibr/dat/article/view/339>. Acesso em: 22 ago. 2024.

VICTORIA-URIBE, Ricardo; GARCÍA-ALBARRÁN, Marco Antonio. Kawaii! La ternura como herramienta para el diseño emocional y sustentable. **Legado de Arquitectura y Diseño**, [s. l.], v. 17, n. 31, p. 77–84, 2022. Disponível em: <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/14888>. Acesso em: 22 ago. 2024.

VOSGERAU, Dilmeira Sant 'Anna Ramos; ROMANOWSKI, Joana Paulin. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista de Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-189, 2014.

WU, Jianfeng *et al.* Emotionally sustainable design toolbox: A card-based design tool for designing products with an extended life based on the user's emotional needs. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 18, 2021.

YANG, Xian *et al.* Emotional design for smart product-service system: A case study on smart beds. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 298, p. 126-823, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126823>. Acesso em: 22 ago. 2024.

TRANS VERSO

06 Integração de escalas para gestão integrada e participativa da sustentabilidade: do bairro ao edifício

recebido em 29/08/2024
aprovado em 29/09/2024

Integração de escalas para gestão integrada e participativa da sustentabilidade: do bairro ao edifício

Lisiane Ilha Librelotto

lisiane.librelotto@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Eduarda Cardoso da Luz

eduardaluz10r@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Ernestina Rita Meira Engel

ernestinaengel@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Paulo Cesar Machado Ferroli

pcferroli@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Mel Ramos da Rosa

melramosdarosa30@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO (PT): O artigo apresenta os indicadores desenvolvidos para o aplicativo *USAT (Urban Sustainability Assessment Tool)*, visando contribuir para a sustentabilidade e governança na Lagoa da Conceição, Florianópolis. Inicialmente, para seleção dos indicadores, utilizaram-se duas RSLs e a pesquisa bibliográfica exploratória associadas à aplicação do Método Delphi. Com abordagem participativa, envolvendo especialistas e representantes locais, foram identificadas prioridades e estabelecidas diretrizes para a integração dos indicadores no USAT. O sistema, composto pelos painéis choques, estrutura urbana, conduta e desempenho, apresenta ferramentas indispensáveis para a gestão da sustentabilidade. Assim, a pesquisa contribui na promoção da sustentabilidade urbana, oferecendo uma estrutura de governança para a área de estudo, potencialmente servindo de modelo para outras áreas com desafios semelhantes.

Palavras-chave: Indicadores, Sustentabilidade, Bairros.

ABSTRACT (ENG): The article presents the indicators developed for the *USAT (Urban Sustainability Assessment Tool)* application, with the aim of contributing to sustainability and governance in Lagoa da Conceição, Florianópolis. Initially, two RSLs and exploratory bibliographic research associated with the application of the Delphi Method were used to select the indicators. Using a participatory approach involving experts and local representatives, priorities were identified and guidelines established for integrating the indicators into the USAT. The system, made up of shocks, urban structure, conduct and performance panels, presents indispensable tools for sustainability management. The research thus contributes to promoting urban sustainability by offering a governance structure for the study area, potentially serving as a model for other areas with similar challenges.

Keywords: Indicators; Sustainability; Neighborhood.

1. Introdução

Este artigo integra uma pesquisa em andamento desde 2022, que trata da avaliação da sustentabilidade em um bairro da cidade de Florianópolis. A Lagoa da Conceição, local do estudo, além de ser um corpo hídrico, nomeia o bairro que compõe um dos distritos administrativos da cidade. Insere-se em um grande centro urbano, com diversas necessidades, muitas delas não supridas e em um contexto ambiental frágil. Assim, necessita de um sistema de gestão que facilite a governança em prol do desenvolvimento sustentável.

A pesquisa objetiva a elaboração do aplicativo/ferramenta USAT, que deverá propiciar a avaliação da sustentabilidade através da participação do cidadão e de um sistema de indicadores integrando a estrutura do bairro, as estratégias para sustentabilidade nas edificações e o desempenho. Para que isso aconteça, fez-se necessário propor novos indicadores a partir de uma ampla revisão bibliográfica e determinar quais se adequam ao contexto local, refletindo as necessidades prioritárias do bairro. Deve-se assim, integrar as proposições das edificações considerando um desenvolvimento sustentável, utilizando como base de avaliação o Modelo ESA-B (Librelotto *et. al.*, 2017).

Ao avaliar a sustentabilidade no meio urbano, uma série de lacunas podem ser observadas no meio científico. A primeira delas, e talvez a mais preocupante, diz respeito à falta de integração entre as medidas de avaliação das cidades (ambiente urbano) e das edificações. A revisão da literatura apontou para a existência de cerca de 600 modelos de avaliação da sustentabilidade nesse contexto. No entanto, os métodos que avaliam a edificação pouco consideram o contexto de implantação, a não ser como uma categoria da avaliação, quando na verdade o cenário do Bairro deveria ser o norteador das estratégias implementadas na edificação e vice-versa. Assim, as metas estabelecidas pelo ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis (ONU, 2015), podem contribuir para a sustentabilidade nas cidades.

A segunda lacuna refere-se à ausência de dados estratificados para os bairros da cidade. Em um contexto como o de Florianópolis, onde os distritos possuem realidades muito distintas, o pensar globalmente, mas agir localmente, que está por trás da gestão da sustentabilidade, nunca foi tão necessário. Assim, mesmo que existam métodos disponíveis que avaliam a sustentabilidade no município, e que fornecem avaliações globais, esses dados não refletem as diversas realidades dos bairros.

A terceira lacuna refere-se às normativas das cidades mais sustentáveis e inteligentes, que enfatizam a necessidade de estabelecer métricas para os municípios brasileiros. Para tanto, colocam a necessidade de que os dados das cidades estejam disponibilizados pela administração municipal de forma transparente e acessível a todos. Essa realidade parece bastante distante, sendo difícil o acesso aos dados requeridos.

Por fim, para avaliar adequadamente a complexidade e a abrangência da sustentabilidade, é necessário estabelecer indicadores que capturem a realidade do bairro e estabeleçam prioridades de atuação, ao invés de uma lista de tecnologias a serem adotadas. Assim, as métricas devem evidenciar prioridades em uma progressão contínua, nesse sentido, deve-se levar em conta a quantidade, a relevância e a hierarquia dessas variáveis, obtendo resultados e correlacionando-os.

Tendo como base esse cenário, o artigo possui como objetivo apresentar o estabelecimento de indicadores para o painel da aplicação do Modelo ESA/B, no desenvolvimento do Aplicativo USAT, para avaliação da sustentabilidade na Lagoa da Conceição.

2. Referencial teórico

2.1 O Modelo ESA

O Modelo ESA foi proposto inicialmente como uma ferramenta para a avaliação da sustentabilidade em empresas construtoras desenvolvido por Librelotto (2005), que foi adaptado para a avaliação da sustentabilidade na edificação em três dimensões: econômica, social e ambiental, considerando o contexto urbano (Librelotto *et al.*, 2017), que foi denominado como ESA-B (Building/Edifício). Inicialmente, para cada dimensão foram propostos indicadores a serem analisados a fim de determinar a sustentabilidade da edificação no que se refere às condutas (estratégias utilizadas no edifício) e ao desempenho atingido, associada à estrutura existente no Bairro. A primeira aplicação do Modelo ESA-B, foi realizada em um Bairro de Florianópolis denominado Córrego Grande a fim de validação de estrutura de indicadores proposta a partir de modelos de avaliação da sustentabilidade já existentes.

Para avaliação da estrutura urbana, o Modelo ESA-B, enquanto um modelo aberto, em uma segunda aplicação, propôs o uso dos indicadores do IQVU - Índice de Qualidade de Vida Urbana (Nahas *et al.*, 2006) como indicadores da estrutura urbana, pois este método já possui aplicação em Belo Horizonte e tem sido calculado periodicamente, e do Modelo MASP-HIS (Carvalho; Spoto, 2012) para a avaliação das estratégias / condutas na edificação, enquanto que o desempenho foi avaliado diretamente pelo usuário final.

A figura 1 esquematiza a proposição do Modelo ESA Edifício. Assumindo alguns indicadores previamente estabelecidos para a estrutura urbana como existência de áreas de lazer, condições da iluminação pública e passeios, mobilidade no bairro, disponibilidade de energia elétrica e água, pode-se na análise da viabilidade do empreendimento, verificar a capacidade existente da estrutura local em atender mais unidades consumidoras, mais veículos circulando no bairro, as condições de comércio para atender a novos moradores. Estes dados servirão de referência para implementação de melhorias no bairro ou mesmo na definição das estratégias (condutas) a empregar no edifício. Um local onde há falta de água constante é um indicativo para maximizar a rede pública, caso ocorra um acordo com o poder público. Caso não, a edificação deverá tentar de todas as formas utilizar estratégias para gestão da água (reaproveitamento da água da chuva, opções de tratamento de água, criação de bacias de retenção ou lagos, uso de dispositivos economizadores).

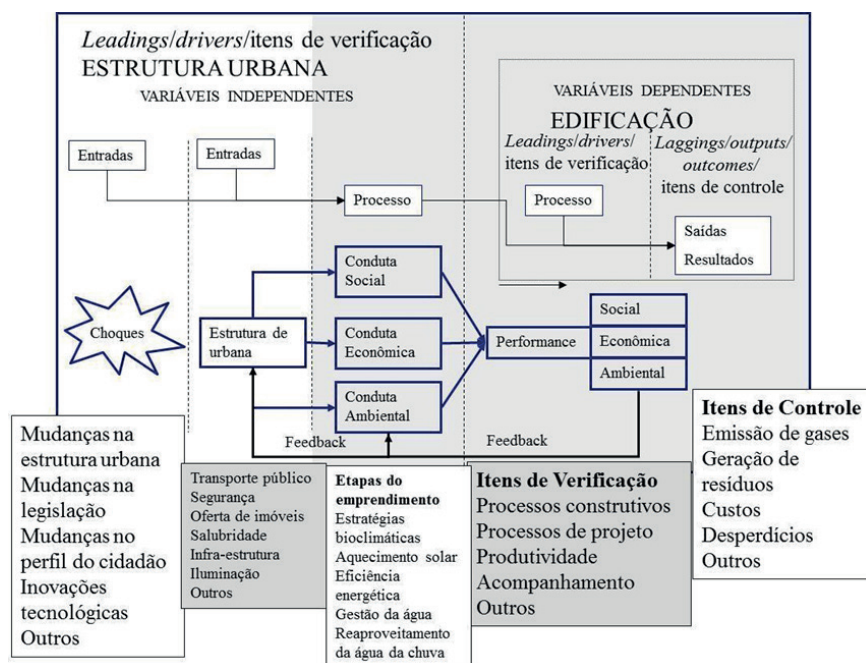


Figura 1 — Esquema geral — Modelo ESA-B. Fonte: Librelotto et. al. (2017).

Desta maneira pode-se priorizar as estratégias mais necessárias que supram deficiências locais ou que gerem maior impacto na comunidade, evitando-se as coleções tecnológicas ou os kits sustentabilidade (equivocadamente, quando existe menção a uma edificação sustentável, automaticamente pensa-se em introduzir o mesmo conjunto de tecnologias — cobertura jardim, reaproveitamento da água da chuva, painéis fotovoltaicos).

O Modelo ESA-B parte da necessidade de uma definição de prioridades e da dinamicidade da sustentabilidade, que não pode ser tratada de maneira estática. Teoricamente, quanto mais condutas forem implementadas no edifício, mais o planeta ganha. Isso seria equivalente a entender a sustentabilidade na edificação como uma coleção de tecnologias, na base do quanto mais melhor. Entretanto, considerando que o conceito da sustentabilidade exige o equilíbrio entre o Econômico, Social e Ambiental, deve-se acompanhar o desempenho das estratégias implementadas e verificar o equilíbrio com as questões econômicas (custo inicial, custo das manutenções, disponibilidade de fornecedores da tecnologia na região, condições dos moradores de gerirem aquela tecnologia de forma correta). Isto servirá como garantia para eficácia das tecnologias implementadas.

Uma vez avaliada a estrutura urbana do local de implementação do edifício, novas avaliações só serão realizadas quando incidirem choques (mudanças que podem alterar as condições do bairro). Pode-se interpretar a construção da edificação como um agente causador de mudanças tendo em vista que deve melhorar as condições do bairro, com oferta de serviços para a comunidade, área de lazer de uso coletivo, hortas comunitárias ou mesmo fornecendo energia limpa excedente autogerada.

Uma das grandes questões que as pesquisas ainda devem responder trata da eficácia das tecnologias implementadas. Muitas tecnologias eficientes, quando empregadas nos edifícios, acabam sendo ineficazes. Isto prejudica tanto a assimilação e difusão da tecnologia, quanto os consumidores que fizeram o investimento sem o retorno esperado e ferem a imagem

de projetistas e consultores que as recomendaram. Muitos são os casos de empreendimentos certificados (ou seja, que empregaram um conjunto de estratégias para obterem uma pontuação e receberam os créditos) mas que acabam por não obter o desempenho esperado. Alguns destes casos geraram processos judiciais difundidos na mídia. Por isso, o modelo ESA-B possui a dimensão do desempenho, ou seja, nesse caso entendido como os resultados, que podem ser mensurados de diversas formas.

Com a edificação já implementada, pode-se monitorar o desempenho. Assim, estratégias/condutas empregadas para eficiência energética devem reverter a economia do consumo de energia. Neste caso, pode-se comparar os *benchmarks* ou resultados das simulações planejadas com o efetivamente conquistado. A mesma relação pode-se estabelecer entre emprego de materiais isolantes térmicos com a temperatura interna dos ambientes. A ventilação natural com a salubridade e temperatura internas e assim por diante. Ou, no mínimo, a mensuração deve considerar a opinião do usuário da edificação, se estão satisfeitos ou não com as estratégias para eficiência que foram implementadas, na falta de dados quantitativos que comprovem o desempenho das tecnologias.

Na figura 1, percebem-se os indicadores integrantes do modelo ESA Edifício que são: os choques incidentes sobre o edifício, oriundos do ambiente urbano (impactos) dos quais resultam pressões para mudanças, a estrutura urbana, a conduta das construtoras e projetistas, traduzidos no projeto, construção e manutenção da edificação (itens de verificação) e o desempenho final obtido (itens de controle). As entradas referem-se a condições preexistentes e as saídas reportam resultados obtidos. Ainda pode-se realizar verificações durante o processo que constituem itens de verificação, a exemplo de horas de treinamento, índices de produtividade etc. As verificações podem ocorrer e ser mensuradas por dados de atributo ou dados em escala de mensuração (estes últimos mais difíceis e demorados de se obter).

2.2 O conceito de indicadores de sustentabilidade

Indicadores de sustentabilidade são métricas ou medidas utilizadas para avaliar e quantificar o desempenho ambiental, social e econômico de uma atividade, projeto, empresa, região ou sistema em relação aos princípios da sustentabilidade (Librelotto, 2005). Além disso, podem servir para acompanhar processos ou monitorar a implementação de tecnologias. De acordo com Kemerich, Ritter e Borba (2014, p.1) “um instrumento utilizado para monitorar o desenvolvimento sustentável são os indicadores de sustentabilidade, os quais são responsáveis por capturar tendências para informar os agentes de decisão, orientar o desenvolvimento e o monitoramento de políticas e estratégias”.

Em complemento, para Librelotto (2005, p.4), indicadores são uma “relação matemática, fruto de verificação qualitativa ou quantitativa, resultando em uma medida quantitativa, que possibilita identificar entradas, estado do processo, resultado, saídas e impactos de ações, através de metas numéricas preestabelecidas”. Assim, permitem medir o progresso em direção aos objetivos sustentáveis, fornecendo informações tangíveis sobre como determinada ação ou processo afeta o equilíbrio entre as necessidades humanas e a preservação dos recursos naturais, ecossistemas e bem-estar social ao longo do tempo.

Desempenho, na língua portuguesa, assume o significado da ação ou efeito de desempenhar, que, por sua vez, quer dizer executar, exercer, cumprir uma determinada tarefa ou papel. No âmbito das organizações, as medições de desempenho assumem significados mais restritos - como o de Harrington e Harrington (1997) para relações econômico-financeiras da empresa e classifica as demais medições nas categorias de melhoria do processo e de previsão — ou significados mais amplos, como o de Elkington (1998), que associa o desempenho às esferas social, ambiental e econômica da sustentabilidade.

Mafra (1999) relaciona diversos conceitos sobre as medições de desempenho, também denominadas, medidas de desempenho, taxas de melhorias, de qualidade, de desempenho ou métrica de desempenho, conforme a literatura consultada. Para o autor, um sistema de indicadores deve estar estruturado de forma a fornecer informações claras e concisas, adequadas ao usuário das mesmas. Assume-se o conceito de indicador como sendo uma relação matemática, resultando em uma medida quantitativa, que possibilita identificar o estado do processo ou o resultado através de metas numéricas preestabelecidas.

Para essa classificação dos indicadores, Librelotto (2005) encontrou por meio de revisão bibliográfica (TRADE & PBM-SIG, 2001; Mafra, 1999; e Rolt, 1998), diversas formas que separam essas medidas em função do objeto da medição (uma entrada, um processo, uma saída ou resultado), em relação à causalidade e momento de incidência para averiguar causas (*leading*, drivers ou itens de verificação — para previsão) ou efeitos de problemas (Sink e Tuttle, 1993) (*laggings*, outcomes ou itens de controle — para acompanhamento) e ainda, para medir atributos de entradas, processos ou saídas (indicadores da qualidade, de melhoria, de impacto de ações, entre outros). Também foram encontradas classificações, conforme o nível da aplicação do indicador dentro de uma empresa, se estratégico, gerencial e operacional ou quanto à finalidade (se para realizar diagnóstico, controle ou acompanhamento).

Os indicadores devem buscar por resultados de forma a serem objetivos, compreensíveis, confiáveis, alinhados com a estratégia da organização ou dos governos e capazes de embasar as decisões. Assim, abordam aspectos como acessibilidade dos dados, envolvimento dos responsáveis, análise estatística e percepção de importância. Em resumo, deve-se assegurar que as métricas adotadas sejam eficazes e relevantes para o monitoramento e melhoria do desempenho organizacional. Essas questões deverão integrar o método de avaliação após as etapas de seleção, hierarquização e estabelecimento das formas de cálculo.

2.3 A avaliação da sustentabilidade

Avaliar a sustentabilidade representa um desafio. Por si só a sustentabilidade é definida como uma ciência complexa e envolve áreas inter e transdisciplinares. Seu entendimento pode associar muitos fatores de difícil mensuração, sobretudo em função da necessidade de manutenção de uma visão holística e aspectos que muitas vezes requerem alto grau de abstração. Entretanto, quando analisada em termos de metas, necessita ter medidas claras. A avaliação ainda dependerá do conceito adotado para sua definição. Muitas áreas tendem a associar a sustentabilidade ao bem-estar humano ou mesmo à felicidade e à fatores que são difíceis de serem avaliados.

O objeto e escopo da avaliação também influenciam no estabelecimento dos indicadores. Avaliar a sustentabilidade em organizações pode requerer a análise de fatores que não se replicam entre áreas de negócio. Já a sustentabilidade em ambientes urbanos ou edificações necessitam de outro olhar, embora as dimensões de avaliação permaneçam as mesmas.

Considerando a avaliação da sustentabilidade em ambientes urbanos e em edificações, diversas são as metodologias e ferramentas existentes. A importância de comprovar a sustentabilidade das edificações somente cresceu com o passar das décadas atrelada ao marketing e rotulagens verdes. Diante da percepção de que para garantir o futuro deve-se cuidar do meio ambiente no presente, diversos estados e nações criaram metas e regulamentos relacionados à sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, que trazem adaptações e diretrizes para a arquitetura, de modo a torná-la mais sustentável. Logo, prédios que possuem certificações de sustentabilidade passaram a possuir maior valor de mercado, bem como os profissionais que incorporam a sustentabilidade em seus projetos.

As edificações são responsáveis por um grande consumo de recursos naturais, não apenas na etapa de construção, mas também na manutenção, causando um grande impacto ambiental negativo. Neste contexto, é ainda mais importante que medidas sejam tomadas para auxiliar na redução do consumo desses recursos. De acordo com Goulart (p. 3, 2008), um projeto sustentável deveria “ser ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável, envolvendo com isto muitas variáveis, entre as quais o uso racional da energia se destaca como uma das principais premissas.”

Em seu estudo, López *et. al.* (2019) avaliaram 101 métodos mais o método Level para avaliar a sustentabilidade em edificações. Os métodos foram identificados e distribuídos em 3 grupos: sistemas, normas e ferramentas. Destes 101, os 36 métodos mais representativos foram comparados segundo 4 categorias: fase do ciclo de vida em que foram aplicados; aspectos de sustentabilidade avaliados; categorias consideradas; e o tipo e estado do projeto avaliado. Os resultados mostraram que cada um dos métodos separadamente não avalia todos os aspectos de um edifício sustentável. Muitos avaliam a energia e a qualidade do ambiente interior, enquanto poucos avaliam os aspectos sociais e econômicos. O número considerável de métodos considerados pela pesquisa e a profundidade da análise realizada é uma importante contribuição para o tema.

Muitas das BSATs (*Buildings Sustainability Assessment Tools*) como o LEED e BREAM possuem suas traduções e adaptações para diversos países. López *et. al.* (2019) contaram cada variante do mesmo método como uma ferramenta diferente. Nessa pesquisa, considerou-se que há poucas variações entre os países quando estes utilizam o mesmo método, excetuando-se casos em que o país desenvolveu uma nova modalidade de certificação, como aconteceu para o LEED, no caso Brasileiro.

Com o surgimento e disseminação dessas ferramentas de avaliação de sustentabilidade em edificações, a percepção da sustentabilidade e o que esta engloba se expandiu. As ferramentas de avaliação da sustentabilidade nas edificações (*Sustainable Building Assessment Tools - BSATs*) apresentam uma lista de requisitos avaliados em construções, concentrando-se na avaliação de impactos mais evidentes a curto prazo na natureza, de aspecto quantitativo e tangível como o consumo de energia e a presença de substâncias tóxicas na materialidade da construção. O conceito englobou

também fatores humanos, como a integração do edifício com a comunidade do entorno e a proximidade do prédio com pontos de transporte público ou outras facilidades que o bairro possa oferecer.

Nesse sentido, buscando identificar métodos de avaliar a sustentabilidade, muitos autores têm realizado comparações, até mesmo para propor formas de avaliação mais próximas da realidade de seus contextos e muitas lições e oportunidades de pesquisa podem ser extraídas dessas iniciativas. Por exemplo, Jamoussi, Abu-Rizaiza e Al-Haij (2022) realizaram uma RSL dos sistemas de certificação, e consideraram o contexto da Arábia Saudita, para propor uma atualização da normativa local. Daqui pode-se perceber a necessidade de pesquisas semelhantes para o desenvolvimento de uma normativa própria brasileira. A pesquisa identificou 14 temas principais para avaliar o edifício: *sustainable site, indoor environment quality, management, energy, water, waste, transportation, material, pollution, innovation, economic, social needs, culture and the quality of service* e apontou fragilidades dos métodos ao avaliar questões sociais e econômicas. De forma mais restrita, autores como Ferrari *et al.* (2021) e Stauski (2013) realizam comparações entre os principais métodos de avaliação da sustentabilidade, identificando semelhanças e divergências nas análises. Entretanto, os métodos mais utilizados tendem a manter indicadores similares.

Outra questão que aflora das avaliações é que as BSATs propostas no Brasil, não aparecem nas revisões de literatura internacionais. Métodos como o Selo Casa Azul (Caixa Econômica Federal 2024), MASP His (Carvalho; Sposto, 2012), ou mesmo o Modelo ESA-B (Librelotto *et al.*, 2017), Etiquetas como PROCEL e PROCEL Edifica (PBE EDIFICA, 2020), não foram sequer mencionados. Todavia, o desenvolvimento e a difusão desses métodos adequados à realidade específica de cada país são essenciais para uma avaliação mais fidedigna. Da mesma forma, a introdução e disseminação exclusiva de métodos de ampla divulgação que desconsideram esses diferentes contextos, deve ser vista com restrição principalmente onde as mudanças em matriz energética, saneamento básico, tecnologias incorporadas em materiais e equipamentos apontam para realidades muito distintas.

Já no contexto urbano, a visão da melhoria e do incremento dos sistemas que constituem a edificação, mesmo que considere o entorno na avaliação, desconsidera as possibilidades que a edificação tem de contribuir para a melhoria do lugar onde está inserida e a existência de recursos finitos que requerem ou uma ruptura de conceitos ou a definição de prioridades nos pacotes de tecnologias incorporadas na edificação.

Os principais autores no tema da avaliação da sustentabilidade urbana identificados em Braga *et al.* (2023), utilizam termos como cidades sustentáveis, inteligentes e verdes de forma pouco discriminada. No caso dos indicadores, os principais temas envolvem lazer, cultura, saúde, segurança, meio ambiente, dentre outros. A seguir, são apontados alguns dos principais aspectos encontrados nas pesquisas.

Muitos aspectos importantes da avaliação da sustentabilidade no meio urbano, como os elencados por Mauree *et al.* (2019) revelam a necessidade de uma estrutura integrada para avaliação da sustentabilidade no contexto urbano e que isso deveria ser abordado em um futuro próximo, seja do ponto de vista da pesquisa, ou do planejamento. No caso da pesquisa de Cohen (2021), pontua-se que a avaliação da sustentabilidade, em geral, carece de um enquadramento unificador, podendo estar mais bem alinhada com princípios comuns do tema. Assim, o trabalho sugere uma estrutura

genérica que permite organizar a avaliação da sustentabilidade urbana, atribuindo indicadores.

Enquanto isso, Dawodu *et al.* (2022) destacou o aspecto de que as iniciativas verdes nas cidades são incapazes de abordar todos os componentes de bairros específicos. Isso acontece devido aos diversos atributos de vizinhança das suas diferentes regiões, o que conduz ao desenvolvimento de ferramentas em microescala. Esse fator, de certa forma, pode permitir a integração posterior em escalas maiores para a gestão de cidades. De modo geral, há dificuldade de obtenção de dados nessa microescala, que possam suprir a gestão por comunidades e bairros.

Em termos de avaliação, Schetke, Haase & Kotter (2012) propõem a criação de um conjunto de indicadores compreensível e compacto para uma avaliação do impacto da mudança do uso da terra em relação ao crescimento dos assentamentos; integração dos dados municipais (dos quais os planejadores municipais até então desconheciam) no sistema de suporte à decisão utilizando essa avaliação; e, um modelo multicritério que é implementado para apoiar os processos de tomada de decisão do planejamento preliminar do uso da terra nas cidades.

Chegando ao contexto da resiliência urbana, Ghouchani *et al.* (2021) evidenciam esse fator como um aspecto a ser avaliado. Assim, criam um índice de resiliência, que usa uma base comparativa com o melhor resultado. Propõem ainda que esse indicador possa ser empregado no planejamento de novas cidades.

No que se refere ao método de avaliação, dada a diversidade de ferramentas e a complexidade da avaliação da sustentabilidade, foi possível perceber a AHP (Análise Hierárquica de Processos) como uma ferramenta de estruturação dos pesos entre os indicadores (Norouzi, 2020; Pons-Valladares e Nikolic, 2020) atrelados as ferramentas Delphi e lógica Fuzzy para entender quais indicadores deveriam compor o sistema de avaliação. Aspectos emergentes das avaliações da sustentabilidade são apontados na questão da construção passiva, zero energia, zero desperdício, emprego de materiais naturais, mudanças climáticas e economia circular.

Ressalta-se que alguns autores optam por utilizar entrevistas e estudos de casos para dar respaldo aos métodos das pesquisas. Como resultados, conseguem encontrar outros indicadores relevantes para a sua análise, e às vezes até estabelecer pesos para tais, além de definir quais os indicadores são mais importantes.

3. Procedimentos metodológicos

Nesta seção são apresentados os métodos, as técnicas e as abordagens utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa que estão divididos em: revisão de literatura e estabelecimento do *framework* inicial de indicadores, aplicação e seleção pelo Método Delphi para estabelecimento do *framework* da estrutura urbana e das condutas nas edificações e análise dos resultados e estabelecimento do *framework* final.

3.1. Revisão de literatura e estabelecimento do *framework* inicial de indicadores

Para a identificação das ferramentas de avaliação de sustentabilidade no meio urbano e nas edificações foram realizadas revisões bibliográficas, as quais foram divididas em duas etapas: revisão exploratória e revisão sistemática. Os resultados dessas etapas foram publicados em Librelotto *et al.* (2023) e em Braga *et al.* (2023), onde identificou-se diversos modelos de avaliação da sustentabilidade nas escalas do urbano e da edificação. Tais modelos foram catalogados e comparados entre si, identificando primeiramente as categorias de avaliação, que por sua vez foram decompostas em indicadores. Do desdobramento realizado foram propostos, inicialmente, 1402 indicadores.

Após a identificação dos indicadores de cada método presentes nos catálogos disponibilizados na página do projeto USAT (<https://usat.paginas.ufsc.br/>) estes foram listados em tabelas, para melhor visualização. Os indicadores foram separados em três eixos: Ambiental, Sociocultural e Econômico. Ao final do processo, foram filtrados os indicadores segundo a frequência de ocorrência nos modelos, similaridade e relevância, chegando-se 134 indicadores para a edificação e 202 para a estrutura urbana, totalizando 328 indicadores (Virtuhab, 2024). O conteúdo de análise das revisões está descrito no item 2 do artigo.

3.2. Aplicação do Método Delphi para estabelecimento do *framework* da estrutura urbana

O Método Delphi (Linstone e Turoff, 2022) é uma técnica utilizada para obter consenso ou tomar decisões em grupo, especialmente quando há incerteza ou falta de informações claras sobre um determinado assunto. No contexto de escolha de indicadores de avaliação, o Método Delphi pode ser aplicado para envolver especialistas e obter suas opiniões e conhecimentos sobre quais indicadores devem ser considerados relevantes. O processo envolve as seguintes etapas: seleção dos especialistas, questionário inicial, feedback anônimo, rodadas subsequentes, e convergência e consenso. Dessa forma, o método permite aproveitar o conhecimento coletivo de especialistas e reduzir o impacto de influências individuais, ao mesmo tempo em que fornece um espaço para revisão e ajuste das opiniões.

A partir da seleção dos métodos de análise e questionários, foram selecionados os participantes. Os especialistas foram selecionados como representantes das organizações às quais possuem vínculos e especialistas pesquisadores do tema. Dessa maneira, foram selecionados os seguintes participantes: IPUF (Secretaria Municipal de Planejamento Urbano); SMPU (Secretaria de Municipal mobilidade e Planejamento Urbano); SMDU (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano); Conselho da cidade (Prefeitura e IPUF); CASAN; CELESC; Associação de Moradores da Lagoa da Conceição; Pesquisadora especialista em eficiência e desempenho energético vinculada à UFSC; FLORAM; COMCAP; SECULT; IMA (Instituto do Meio Ambiente); ICMBio (antigo Ibama); Pesquisadora especialista em avaliação da sustentabilidade e certificação LEED UNICAMP; LabCRIS (análises ambientais - UFSC EGC); SMPIU (Secretaria Municipal de Planejamento e Inteligência Urbana); e Pesquisador especialista em desempenho social. Dessa forma, foi possível obter respostas representativas de diferentes visões sobre o tema.

3.3. Análise dos questionários e estabelecimento dos indicadores

A partir disso, foram elaborados 2 questionários, um para seleção dos indicadores da estrutura urbana e outro para as condutas na edificação. Os respondentes, à exceção dos especialistas pesquisadores (com foco no planejamento urbano ou na certificação de edificações), seguiram o mesmo critério de seleção.

Na realização do questionário, primeiramente solicitou-se a avaliação, por parte dos especialistas, sobre a pertinência das categorias de avaliação. Posteriormente, cada indicador apresentado foi avaliado por um valor atribuído de 1 a 5, de acordo com a opinião dos especialistas sobre o nível de importância. Além da atribuição de valores, foi oferecida a possibilidade de novas sugestões ou opiniões em cada pergunta sobre modificação dos indicadores, pertinência e nível de compreensão. Os indicadores considerados com elevado nível de consenso foram os que atingiram o terceiro quartil na análise, ou seja, correspondem àqueles indicados por, pelo menos, 75% dos respondentes. A figura 2 mostra exemplos de tópicos abordados nos questionários. As respostas de 13 especialistas foram coletadas entre os dias 27/09/2023 e 23/10/2023.

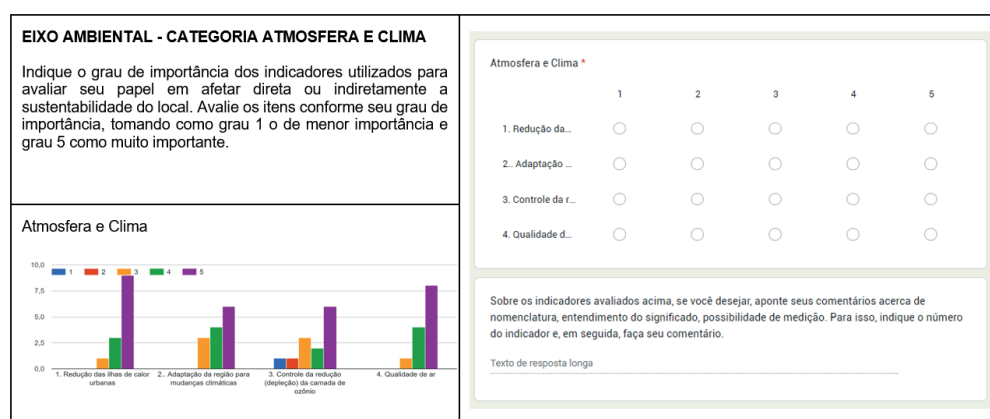


Figura 2 – Exemplo de tópicos e gráficos de respostas do questionário. Fonte: elaborado pelos autores.

No contexto deste estudo, foram obtidas um total de 13 respostas para o formulário das condutas na edificação e 12 respostas para o questionário da estrutura urbana. Ambos utilizam como ferramentas de coleta de dados o *Google Forms*, que resultou em vários gráficos a serem analisados. Os questionários contemplaram a proposição dos indicadores e o consenso pela técnica Delphi foi obtido na primeira rodada de aplicação.

4. Resultados e Discussão

A partir das análises anteriores e da adaptação do modelo ESA-B, obteve-se o Sistema USAT, para gestão da sustentabilidade na escala do edifício e do bairro, considerando o contexto da Lagoa da Conceição, em Florianópolis. O principal ponto levantado com o sistema é a necessidade de uma visão integrada entre como o contexto urbano pode contribuir com a edificação, e também o contrário, onde a edificação é responsiva ao seu meio e contribui com sua sustentabilidade.

O Sistema é composto por 4 Painéis principais:

- **Choques:** trata das mudanças na estrutura urbana, legislação, perfil do cidadão, inovações, dentre outros, que podem trazer mudanças significativas e influências nas demais categorias da avaliação.
- **Estrutura Urbana:** constituído pelos indicadores que avaliam a estrutura urbana, ou seja, a unidade de território a ser analisada (distrito, bairro, cidade).
- **Conduta:** Esse painel é composto pelos indicadores do edifício, que analisam diferentes aspectos relativos à edificação e seu entorno.
- **Desempenho:** Por fim, o painel de desempenho, que integra os indicadores das categorias anteriores, a partir da avaliação/*feedback* do cidadão. Nesse caso, traz a possibilidade de uma avaliação direta, voltada às necessidades da comunidade, e tornando-os agentes ativos na gestão da sustentabilidade. Os moradores do Bairro poderão avaliar tanto a estrutura urbana, quanto a edificação. Os indicadores estabelecidos para esse painel são variações simplificadas mais próximas da compreensão dos moradores.

Na figura 3, é possível visualizar o esquema geral de funcionamento dos Painéis do Sistema USAT.

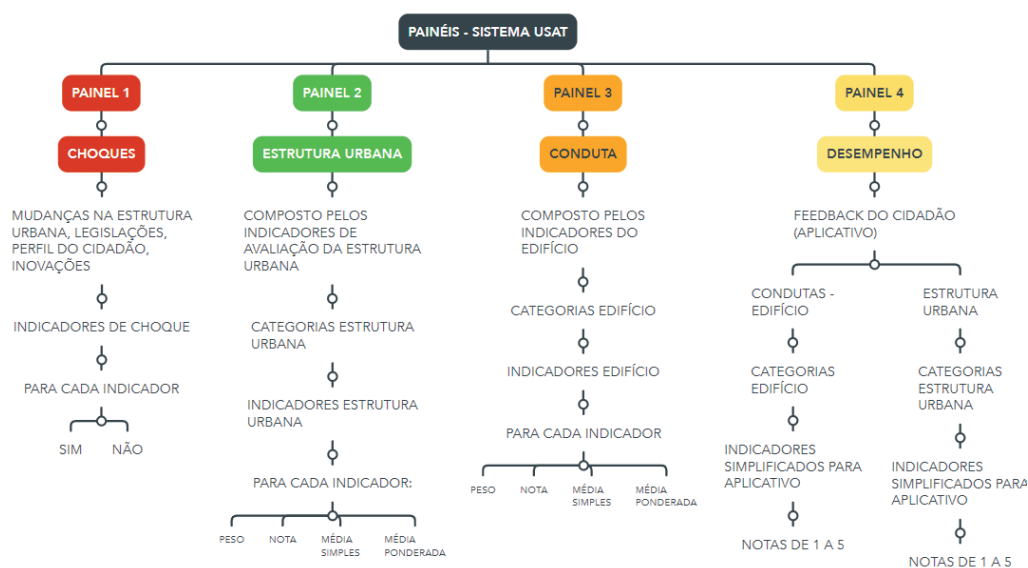


Figura 3 – Painéis do Sistema USAT. Fonte: elaborado pelos autores.

Em cada painel, há um sistema de métricas e médias simples e ponderadas, cujos pesos foram atribuídos em função da opinião dos decisores, que variam conforme a avaliação individual dos indicadores. As médias simples dos indicadores são o resultado das diversas avaliações periódicas conforme a frequência de medição e incidência dos choques. As médias ponderadas são as adequações das médias simples, considerando os pesos atribuídos pelos decisores. Os indicadores são avaliados por notas de 0 a 1.

A partir das médias dos indicadores, são calculadas as médias das categorias e dos eixos econômico, social e ambiental.

Ao se observar a amplitude da pesquisa realizada com relação aos indicadores estabelecidos, concluiu-se que as categorias estabelecidas pelas pesquisas encontradas atendiam as finalidades do projeto, com a necessidade de poucas adaptações. Essas categorias serviram no agrupamento dos indicadores conforme os temas. As correlações entre métodos e modelos, resultaram nos indicadores inseridos dentro das categorias.

Em paralelo a isso, após a comparação dos indicadores de todas as fichas criadas para catalogação dos métodos de avaliação da sustentabilidade, foram separados os indicadores do modelo ESA-B (Librelotto *et al.*, 2017) relativos à primeira aplicação, que mais apareciam nessa comparação, seguindo a porcentagem de ocorrência maior do que 30%. Os indicadores com incidência superior a 30%, semelhantes foram agrupados e analisados para fornecerem as informações necessárias.

A partir disso, foi possível montar o fluxograma geral com o resultado dos indicadores, onde estão expressos o tipo de análise (estrutura urbana ou edifício), eixos (ambiental, sociocultural e econômico), as categorias (25 para estrutura urbana e 9 para edificação), os indicadores e seus pesos finais. No caso do painel desempenho, utilizam os mesmos indicadores e categorias, atualizados ao contexto do cidadão. A figura 4 mostra as categorias da estrutura urbana e do edifício.

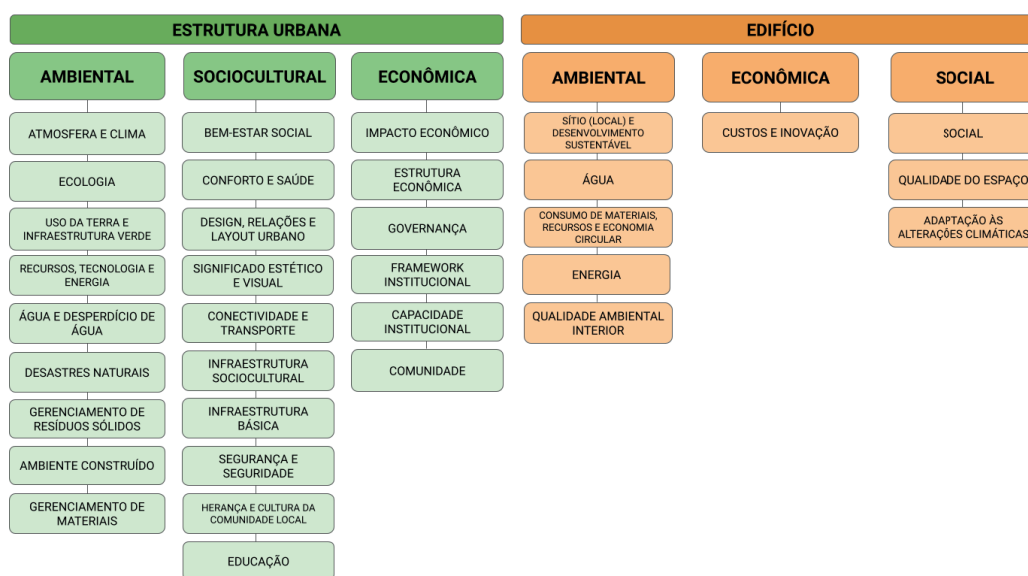


Figura 4 – Categorias de indicadores da Estrutura Urbana e Edifício. Fonte: elaborado pelos autores.

A partir das respostas dos questionários realizados com especialistas, foram analisados 55 gráficos, compostos pelas 13 respostas obtidas. Além disso, os pesos atribuídos pelos respondentes foram categorizados a partir de uma planilha, gerando a média das notas a partir das respostas. Assim, chegou-se nos pesos de cada indicador em relação à sua categoria, e também das categorias entre si. A figura 5 ilustra uma parte da planilha resultante.

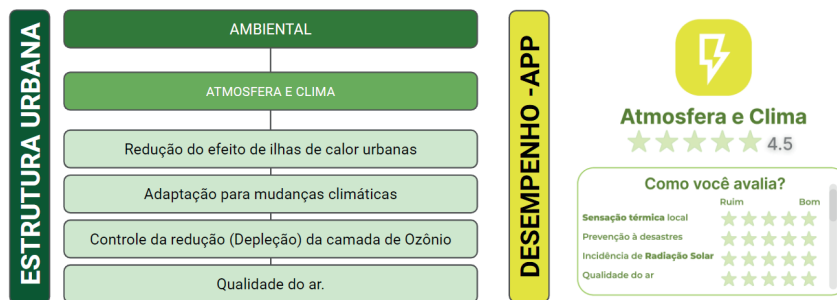
EIXO	CATEGORIA URBANO	Nº	INDICADOR	PESO (questionários)	IMPORTÂNCIA DA CATEGORIA
AMBIENTAL	1. ATMOSFERA E CLIMA	1	1.1. Redução do efeito de ilhas de calor urbanas	4,58	100%
		2	1.2. Adaptação para mudanças climáticas	4,23	
		3	1.3. Controle da redução (Depleção) da camada de Ozônio	3,85	
		4	1.4. Qualidade do Ar	4,54	
	2. ECOLOGIA	5	2.5. Gestão da restauração e conservação da biodiversidade do habitat, de espécies ameaçadas e comunidades ecológicas	4,46	100%
		6	2.6. Preservação dos recursos do solo – árvores, corpos d'água, zonas úmidas e de áreas ecologicamente sensíveis ou valiosas	4,77	
		7	2.7. Conservação de terras agricultáveis (não utilizar essas áreas para empreendimentos)	3,77	
		8	2.8. Retenção da topografia natural e proteção de encostas íngremes e taludes, por meio de planos de controle para redução de erosão do solo	4,69	
		9	2.9. Hortas comunitárias	4,23	
		10	2.10. Áreas humanizadas com áreas verdes (por habitante), sombreadas (e seu uso) e áreas de lazer (passeios, atividades físicas, entre outras)	4,69	
		11	2.11. Existência de projeto de paisagismo (plantas nativas e árvores frutíferas, evitando o uso de espécies invasivas)	4,46	
		12	3.12. Otimização do uso da Terra (Reuso da Terra, Minimização da movimentação de terras e descaracterização do relevo local ou criação de taludes acentuados etc)	4,08	83%
	3. Uso da Terra e Infraestrutura Verde	13	3.13. Desenvolvimento de usos mistos	4,17	
		14	3.14. Reabilitação urbana de áreas, remediação de terras e áreas abandonadas, evitando o desenvolvimento de locais inapropriados	4,17	
		15	3.14. Inclusão de mecanismos para evitar e controlar processos erosivos devido a implantação dos empreendimentos.	4,42	
		16	3.15. Observar a inserção de novas construções em áreas de alta densidade habitacional para que a infraestrutura seja compatível com o aumento populacional causado pela futura ocupação	4,42	
		17	3.16. A localização do terreno é em áreas de conurbação urbana (área de junção e expansão de municípios em regiões metropolitanas)	3,50	
		18	3.17. Recuperação de áreas contaminadas e degradadas, mediante reabilitação das áreas (descontaminar ou encapsular)	4,42	
		19	3.18. Índices de ocupação do bairro menores ou igual a 50%	3,58	

Figura 5 – Exemplo da planilha de cálculo dos pesos dos indicadores. Fonte: elaborado pelos autores.

Como etapas seguintes da pesquisa, foram realizadas avaliações de cada indicador. Para isso, estão sendo elaboradas fichas, com a descrição, objetivos, critérios e cálculos. Ao relacionar as notas de avaliação com os pesos de cada indicador e categoria, será possível gerar a análise. Assim, leva-se em conta a importância de cada indicador dentro do *framework* total, suas inter-relações e relevância para a composição da avaliação da sustentabilidade, tanto na estrutura urbana quanto no edifício. A lista final de indicadores para os painéis da estrutura urbana e das condutas na edificação constam na página do projeto.

Com relação à origem dos dados para a avaliação, os painéis Choques, Estrutura Urbana e Conduta terão avaliação realizada por agentes como: órgãos públicos, entidades responsáveis, pesquisadores, responsáveis técnicos, dentre outros. Nesse sentido, para o funcionamento do sistema, entende-se que deva existir a cooperação entre as diferentes escalas de gestão, desde a municipal, até a escala comunitária, onde as demandas podem ser percebidas de forma mais eficaz.

No caso do painel Desempenho, serão obtidos mediante entrevistas aos usuários do edifício e do bairro, ou por meio de avaliação direta do usuário no aplicativo, de forma a obter sua avaliação sobre os indicadores estabelecidos. Nesse sentido, os indicadores foram adaptados da linguagem técnica para o melhor entendimento da população. Por exemplo, o indicador da Estrutura Urbana, Categoria Atmosfera e Clima, denominado Redução do efeito de ilhas de calor urbanas, na ferramenta de avaliação dos moradores é mostrado como “Sensação Térmica Local”. O usuário pode dar sua nota em uma escala de 1 a 5. Dentro do sistema, é possível comparar os dados entre a avaliação por métricas dos órgãos públicos e a avaliação do usuário final, propondo interrelações e avaliações a partir da visão do morador. A figura 6 exemplifica a adaptação realizada.



6 – Exemplo da adaptação dos indicadores de Conduta e Estrutura Urbana para Desempenho.
Fonte: elaborado pelos autores.

Além disso, palavras que podem gerar dúvidas serão integradas a um Glossário, buscando a acessibilidade dos termos na avaliação, e também com função educativa sobre os conceitos da sustentabilidade.

Junto a adaptação dos indicadores para uma linguagem mais acessível, a versão detalhada do indicador original, incluindo seu objetivo, descrição, método de cálculo e outras informações relevantes, está disponível na página web da ferramenta (7). Desta forma, caso o colaborador deseje entender mais profundamente sobre o assunto, a informação é disponibilizada com acesso direto, promovendo maior transparência.

Num.	Indicador	Nota	Data de atualização
01	Redução do efeito de ilhas de calor urbanas	1	Abril/2024
DESCRIÇÃO: Análise e quantificação da variação das temperaturas urbanas, a implementação de técnicas de resfriamento urbano, como o aumento de áreas verdes, telhados verdes, uso de materiais reflexivos, sombreamento urbano e outras ações destinadas a mitigar o impacto das ilhas de calor. OBJETIVO: Reduzir as temperaturas extremas. "Nas cidades as altas temperaturas e a baixa qualidade do ar resultantes da formação das ilhas de calor urbanas (ICU), em ocorrência simultânea às ondas de calor, colocam em risco a saúde humana, afetam o bem-estar e a produtividade da população urbana, que recorre a sistemas para climatização artificial. As ICU interferem na dinâmica dos sistemas ambientais alterando o balanço de energia no espaço urbano e adjacente e provocando desconforto térmico na população urbana dentro e fora das edificações, induzindo ao aumento do uso de sistemas de climatização artificial para resfriamento e refrigeração, nos edifícios e meios de transporte." (Fonte: FERREIRA, PEREIRA E LABAKI, 2021) CÁLCULO: Diferença de temperatura entre pontos de medição e média registrada (desvio de padrão). DTi= Tponto - Tmédia (se +, ilha de calor) Onde: DTi= Diferença de temperatura no ponto i Tponto= Temperatura medida no ponto i T média= Temperatura média do Bairro (ou cidade)			
02	Adaptação para mudanças climáticas	0,5	Abril/2024
03	Controle da redução (Depleção) da camada de Ozônio	0,4	Abril/2024

7 – Exemplo da apresentação da descrição do indicador de Estrutura Urbana.
Fonte: elaborado pelos autores.

A partir de todas as etapas de avaliação, enfatiza-se que um dos principais desafios está no acesso aos dados e transparência. Entende-se que para ocorrer uma real transformação na gestão da sustentabilidade, é necessário avaliação em tempo real das dinâmicas a nível local. Dessa forma, é necessário um trabalho em conjunto, desde os órgãos governamentais, com estratégias de coleta e disponibilização de dados; passando por pesquisadores e técnicos capazes de avaliar as métricas e solucionar problemas; até chegar na população, que pode agir solicitando dados, acessando resultados e também contribuindo em todo o sistema a partir de feedbacks.

Como próximas etapas da pesquisa, está a consolidação do sistema de avaliação, que permitirá o teste e primeiros retornos sobre a ferramenta de gestão. Desde as etapas iniciais, enfatiza-se a visão multiescalar da sustentabilidade, além da responsabilidade de todos os agentes nos resultados. Os testes e retornos sobre a ferramenta permitirão avaliar a efetividade do sistema, além da realização de ajustes para consolidação do sistema USAT.

5. Considerações Finais

Nesta pesquisa procurou-se avaliar a sustentabilidade da Lagoa da Conceição, utilizando o Modelo ESA-B que atingiu a condição de um bairro em desenvolvimento. Mais importante que a significância dos valores resultantes da avaliação, é a análise da adequação do modelo para realizar a gestão do lugar. A coleta de dados de forma exploratória, neste artigo, foi trabalhosa e demandou a colaboração de diversos setores públicos e privados. Entretanto, o modelo ESA-B apresenta muito potencial para subsidiar a gestão da sustentabilidade do lugar como propõe o projeto.

Foram encontradas muitas dificuldades para obter informações relevantes sobre a área de estudo. Há uma limitação de obtenção de dados no âmbito dos bairros, e que é de extrema importância para o entendimento deste estudo. Sendo assim, para alcançar uma análise mais aprofundada, é essencial que os órgãos públicos forneçam informações detalhadas sobre os bairros. Assim, deve-se expor de forma mais detalhada sobre os bairros e não apenas dados genéricos do município todo, principalmente em casos de cidades com áreas territoriais consideráveis.

As ferramentas de avaliação da sustentabilidade encontradas nesta pesquisa demonstram, em suas bases de dados, exigências e parâmetros relacionados a seus países de origem e legislação local. Consequentemente, percebe-se que é difícil aplicar estes sistemas de classificação de edificações a outros países, o que induz a necessidade do desenvolvimento de sistemas de avaliação local. Por isso, pesquisas como o projeto USAT são tão importantes, que se trata do desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade feita especificamente para a análise dos bairros de uma cidade brasileira, nesse caso, o bairro Lagoa da Conceição, na cidade de Florianópolis.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos à FAPESC e CASAN pelo apoio financeiro à pesquisa Aplicativo USAT (*Urban Sustainability Assessment Tool*) para Gestão da Sustentabilidade Urbana na Lagoa da Conceição em Florianópolis através do Modelo ESA-Building. Agradecemos também ao Programa PIBIC/CNPq, pelas bolsas de iniciação científica concedidas.

Referências

BRAGA, K.; CARDOSO, E.; LIBRELOTTO, L.; BANDINI, V.; AGUIAR, A. Revisão Sistemática De Literatura (RSL): ferramentas para avaliação da Sustentabilidade no contexto urbano (USATS). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 12, p. e20011-e20011, 2023.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo Casa Azul + CAIXA**: boas práticas para uma habitação mais sustentável. 2024. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 20 ago. 2024.

CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 207-225, 2012.

COHEN, M. A systematic review of urban sustainability assessment literature. **Sustainability**, v. 9, n. 11, p. 20-48, 2017.

DAWODU, A.; CHESHMEHZANGI, A.; SHARIFI, A. OLADEJO, J. I. Neighborhood sustainability assessment tools: research trends and forecast for the built environment. **Sustainability Futures**, v. 4, p. 1-16, 2022.

ELKINGTON, J. **Cannibals With Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business**. Gabriola Island: New Society Publishers, 1998.

FERRARI, S.; ZOGHI, M.; BLÁZQUEZ, T; DALL'O, G. New Level (s) framework: Assessing the affinity between the main international Green Building Rating Systems and the European scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2021.

GHOUCHANI, M. TAJII, M.; ROSHAN, A. Y.; CHEHR, M. S. Identification and Assessment of Hidden Capacities of Urban Resilience. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 3, 2021, pp. 3966—3993.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas edificações e no espaço urbano**. Apostila-Disciplina Desempenho Térmico de Edificações-ECV5161. UFSC. Florianópolis, 2008. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Sustentabilidade_apostila_0_0.pdf. Acesso em: 28 ago. 2024.

HARRINGTON, H. J.; HARRINGTON J. S. **Gerenciamento Total da Melhoria Contínua**: a Nova Geração da Melhoria do Desempenho. São Paulo: Makron Books, 1997.

JAMOUSSE, B.; ABU-RIZAIZA, A.; AL-HAJI, A.. Sustainable Building Standards, Codes and Certification Systems: The Status Quo and Future Directions in Saudi Arabia. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 103-114, 2022.

KAUR, H; GARG, P. Urban sustainability assessment tools: A review. **Journal of cleaner production**, v. 210, p. 146-158, 2019.

KEMERICH, P. D. da C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. de. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista Monografias Ambientais**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 3718—3722, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/14411>. Acesso em: 10 mar. 2024.

LIBRELOTTO, L. I.; BANDINI, V.; CARDOSO, E.; FERROLI, P. C. M. Ferramentas para Avaliação da Sustentabilidade nas Edificações (FASES): uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). **Revista Jatobá**, Goiânia, v. 5, 2023.

LIBRELOTTO, L.I. **Modelo para avaliação da sustentabilidade na construção civil nas dimensões econômica, social e ambiental (ESA)**: aplicação no setor de edificações. Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Tese (Doutorado em Engenharia). Florianópolis: UFSC, 2005.

LIBRELOTTO, L.I. et al. Avaliação da Sustentabilidade do Edifício na Escala Urbana: Modelo ESA Edificações. *In*: Anais do ENSUS, 2017. **Anais** [...]. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/238369/ANAIS%20ENSUS%202017-163-177.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 mar. 2024.

LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The Delphi method**: techniques and applications. Addison Wesley Newark: New Jersey Institute of Technology, 2022.

LÓPEZ, C. D; *et. al.* A comparative analysis of sustainable building assessment methods. **Sustainable Cities and Society**, v. 49, p. 101-611, 2019.

MAFRA, A. T. **Proposta de Indicadores de Desempenho para a Indústria de Cerâmica Vermelha**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Florianópolis: PPGE-UFSC, 1999.

MAUREE, D., NABONI, E., COCCOLO, S., PERERA, A. T. D., NIK, V. M.; SCARTEZZINI, J. L. A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, p. 733-746, 2019.

NAHAS, M. I. P. Metodologia de construção de índices e indicadores sociais como instrumentos balizadores da gestão municipal da qualidade de vida urbana: uma síntese da experiência de Belo Horizonte. *In*: HOGAN, D; *et. al.* (org). **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: Núcleo de Estudos de População/Unicamp, v. 465, p. 487, 2001.

NAHAS, M. I. P.; PEREIRA, M. A. M; ESTEVES, O. A.; GONÇALVES, E. **Metodologia de construção do índice de qualidade de vida urbana dos municípios brasileiros (IQVU-BR)**. ABEEP, p. 1-20, 2006.

NOROUZI, N. The more Sustainable buildings, the more Sustainable societies: An Overview on Building Sustainable Evaluation in the World. **Energy Studies Review**, v. 24, n. 1, 2020.

ONU. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11**: cidades e comunidades Sustentáveis. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>. Acesso em: 10 mar. 2024.

PBE EDIFICA. **PBE — Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2020. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 20 ago. 2024.

PONS-VALLADARES, O.; NIKOLIC, J. Sustainable Design, Construction, Refurbishment and Restoration of Architecture: a review. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 22, 2020.

ROLT, M. I. P. **O uso de indicadores para a melhoria da qualidade em pequenas empresas**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Florianópolis: PPGE-UFSC, 1998. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br>. Acesso em: jan. 2003.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).

SCHETKE, S.; HAASE, D.; KÖTTER, T. Towards Sustainable Settlement Growth: A New Multi-criteria Assessment for Implementing Environmental Targets into Strategic Urban Planning. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 32, n. 1, p. 195-210, 2012.

STAUSKIS, G. Green Architecture Paradigm: from Urban Utopia to Modern Methods of Quality Assessment/Zaliosios Architektūros Paradigma: Nuo Urbanistiinės Utopijos Iki Siuolaikiniu Tvarumo Vertinimo Metodikyu. **Science Future of Lithuania**, v. 5, n. 3, p. 181, 2013.

SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. **Planejamento e medição para performance**. Rio de Janeiro: Quality Market, 1993.

TRADE & PBM-SIG — Trade Recurses and Data Exchange & Performanced-Based Management Special Interest Group. **How to Measure Performance: A handbook of Techniques and Tools**. U.S. Department of Energy- DOE. October, 1995. Disponível em: <http://www.ora.gov/pbm/documents/documents.html>. Acessado em: jan. 2003.

VIRTUHAB. **Urban Sustainability Assessment Tool/ESA-B**: sobre. 2024. Disponível em: <https://usat.paginas.ufsc.br/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

TRANS VERSO

07 Importância da infraestrutura urbana na consolidação de cidades inteligentes

recebido em 31/08/2024
aprovado em 30/09/2024

Importância da infraestrutura urbana na consolidação de cidades inteligentes

Isaias Carlos de Azevedo Júnior

iscjunior@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG

Raquel Diniz Oliveira

raqueldo@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG

Flávia Spitale Jacques Poggiali

flaviaspitale@cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG

RESUMO (PT): Os grandes centros urbanos geram uma vasta quantidade de dados por meio de suas atividades e processos. A organização e análise desses dados são essenciais para a gestão otimizada das cidades. Este estudo possibilitou a análise de diversos parâmetros e indicadores prioritários para políticas públicas na cidade de Belo Horizonte. Os dados, obtidos de bases públicas, foram organizados em uma plataforma georreferenciada, permitindo a correlação de diversos parâmetros com indicadores urbanos. A análise de correlação revelou que as regiões da cidade com melhor infraestrutura urbana apresentaram desempenho superior em seus indicadores. Assim, constatou-se uma forte correlação entre a disponibilidade de infraestrutura urbana e indicadores de melhor desempenho. Essa correlação sugere que a infraestrutura pode ser um fator relevante para a melhoria de indicadores, contribuindo para a consolidação de cidades mais inteligentes e sustentáveis. Conclui-se que o estudo de correlação entre indicadores e parâmetros urbanos pode ser uma ferramenta útil para a gestão municipal, auxiliando na priorização de investimentos em infraestrutura.

Palavras-chave: *Infraestrutura Urbana, Indicadores Urbanos, Parâmetros Urbanos, Cidades Inteligentes e Sustentáveis.*

ABSTRACT (ENG): *Urban centers generate a vast amount of data through their processes. The organization and analysis of this data are essential for optimized city management. This study enabled the analysis of various parameters and priority indicators for public policies in Belo Horizonte. The data, obtained from public sources, were organized on a georeferenced platform, allowing the correlation of various parameters with urban indicators. The correlation analysis revealed that regions of the city with better urban infrastructure showed superior performance in their indicators. Thus, a strong correlation was found between the availability of urban infrastructure and better performance indicators. This correlation suggests that infrastructure may be a relevant factor for improving these indicators, contributing to the consolidation of smarter and more sustainable cities. It is concluded that the study of the correlation between indicators and urban parameters can be a useful tool for municipal management, assisting in the prioritization of infrastructure investments.*

Keywords: *Urban Infrastructure, Urban Indicators, Urban Parameters, Smart and Sustainable Cities.*

1. Introdução

O protagonismo e a importância das cidades na história da humanidade nunca foram tão grandes quanto no atual momento em que vivemos. Tais assentamentos, que surgiram a partir do avanço de tecnologias e regras que viabilizaram a permanência e a convivência de grandes grupos de pessoas, tem se mantido em constante evolução por milhares de anos. Atualmente, alguns autores se referem ao século 21 como o século das cidades. Tal importância pode ser evidenciada pelas projeções previstas para as próximas décadas: em 2030, espera-se que 60% da população viva em grandes metrópoles; já em 2050, estima-se que este percentual salte para 75%, podendo chegar a mais de 80% até o final do século. Hoje, em alguns países desenvolvidos, estas taxas de urbanização, já são uma realidade, como por exemplo no caso do Reino Unido (Yigitcanlar; Kamruzzaman, 2018).

O crescimento vertiginoso das populações urbanas é um fenômeno importante desta era conhecida como Antropoceno, na qual diversos fenômenos, decorrentes das atividades humanas, tem ocorrido em larga escala (Travis, 2017). Assim, é inevitável que o atual período, fortemente marcado pelos impactos humanos nos ecossistemas, demande grandes esforços para a mudanças de alguns paradigmas.

Desta forma, não é exagero dizer que as cidades estão no centro dos desafios globais, por outro lado, possuindo papel importante e decisivo em suas soluções. Ao ocupar apenas 3% da superfície terrestre, impulsionam fortemente o crescimento econômico com 80% do PIB (Produto Interno Bruto) global, entretanto, são responsáveis pela emissão de 75% dos gases de efeito estufa (Kankaala et al., 2018). Assim, fica claro que as mudanças em âmbito local têm maior potencial para resolver esses grandes desafios por meio da inovação focada no aumento da eficiência dos processos urbanos. Neste sentido, as demandas pela quebra de paradigmas relacionados a sustentabilidade das cidades foram recentemente incluídas nos principais acordos internacionais, dentre os quais se destacam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Nova Agenda Urbana fomentados pela Organização das Nações Unidas.

O desenvolvimento tecnológico para tratar as demandas relacionadas a evolução do ambiente urbano tem se acelerado com soluções em energias sustentáveis, tecnologias de construção, IoT (Internet of Things), sensores, mobilidade, robótica e diversas fontes de dados (Zanella et al., 2014). A partir do desenvolvimento e da disseminação destas novas tecnologias passou a ser produzido um grande volume de informações que, em grande parte, ainda são desperdiçadas ou subutilizadas (Dold; Groopman, 2017). Desta forma, a classificação de informações e parâmetros urbanos relevantes para a análise das cidades tem grande potencial para contribuir com o planejamento de políticas públicas mais eficazes.

No Brasil, mais da metade da população vive em 6% do território nacional. Apenas 17 municípios, dentre 5.570, concentram uma população de 46,38 milhões de pessoas, ou seja 21,9% dos brasileiros, de um total de 211,8 milhões de habitantes (Guimar; Szpiz, 2020). Desta forma, o ambiente urbano brasileiro, bem como sua tendência de crescimento, precisa ser compreendido para que ações e políticas públicas sejam cada vez mais assertivas e proporcionem o desenvolvimento e o aperfeiçoamento do uso e ocupação destes espaços. Sendo assim, pesquisas que contribuam para a consolidação do conhecimento sobre o desempenho de processos das cidades possuem

potencial para alcançar a maior fatia da população brasileira com medidas que contribuam, efetivamente, para a melhoria de sua qualidade de vida.

Atualmente é viável e, relativamente barato, captar, perceber e acompanhar diversas variáveis por meio de sensores, softwares e plataformas digitais. O uso destas tecnologias requer coordenação e sincronização de diversos sistemas, bancos de dados, dispositivos, ambientes, processos de trabalho e usuários. Neste contexto, têm sido empregados, na administração pública de diversas cidades, sensores, tecnologia robótica, câmeras, aprendizado de máquina, criptografia, computação em nuvem e inteligência artificial (Fraga-Lamas; Fernández-Caramés; Castedo, 2017).

2. Fundamentação Teórica

2.1 Cidades inteligentes sustentáveis

A partir do rápido desenvolvimento de diversas tecnologias, sobretudo as relacionadas a sistemas de informação, infraestrutura, aumento da capacidade de hardware, armazenamento e análise de dados, foi possível viabilizar a coleta e tratamento de diversas informações geradas pelos processos das cidades. Com base nestes avanços tecnológicos, passou a ser possível uma análise mais completa e holística de diversos problemas, permitindo estudos com foco na otimização de diversos processos, impactando diretamente a vida e o bem-estar nas cidades (Stadler, 2013).

Neste contexto surge no final da década de 1990 o conceito de *Smart Cities*, ou em português: cidades inteligentes. Nesta época, de forma pioneira, Genebra/Suíça, Tampere/Finlândia, Hong Kong/China e Cingapura já davam os primeiros passos no desenvolvimento de tecnologia da informação, com foco em aumentar sua competitividade econômica associada a indicadores de bem-estar social e sustentabilidade (Mousavi; McGrail; Varadan, 2017).

O conceito de cidade inteligente também leva em consideração a preparação de um ambiente urbano mais resiliente frente aos impactos relacionados às mudanças climáticas, fazendo uso das tecnologias digitais para aperfeiçoar o planejamento urbano (Hämäläinen, 2020).

2.2 Análise de parâmetros urbanos

A análise dos parâmetros e indicadores urbanos georreferenciados, tem sido viabilizada também por técnicas de classificação de cidades, também conhecidas como *benchmarking* ou análise de *rating*. Para tanto, a comparação quantitativa entre diferentes cidades tem sido desenvolvida por diversas organizações. Desta forma, é necessário identificar o conjunto de múltiplos indicadores, por meio dos quais pode ser apurado um índice que indique o nível de desenvolvimento urbano inteligente que permita a comparação de cidades (Vanolo, 2014).

Nesse sentido, também é imprescindível que os indicadores e parâmetros urbanos, selecionados para direcionar os estudos, possam refletir projetos específicos e focados na construção, melhoria e evolução das cidades, contribuindo assim para a um ambiente urbano sustentável.

2.3 Pesquisas correlacionadas

Diversos estudos tem abordado o impacto de parâmetros urbanos frente aos novos desafios apresentados às cidades. Neste sentido, várias pesquisas, assim como o presente trabalho, abordam as tecnologias e metodologias que possam ser utilizadas para fomentar a eficiência, inteligência e sustentabilidade das cidades, por meio da análise de dados urbanos.

No trabalho desenvolvido por Wilson e Chakraborty (2019) foi proposta a avaliação do papel da tecnologia na melhoria da governança e dos serviços públicos em uma cidade inteligente. O cenário escolhido para o desenvolvimento da pesquisa foi a cidade de Chicago/EUA, selecionada por possuir uma base de informações robusta. Ao analisar as bases de dados da cidade, os autores concluem que a disseminação da tecnologia de compartilhamento de dados que fomenta a participação dos cidadãos tem grande impacto na formação e manutenção de ecossistemas de informações abertas. Os autores concluem que tais tecnologias, conhecidas como cívicas, quando utilizadas de forma bidirecional (cidadãos e governo), se tornam ferramentas extremamente úteis para a elaboração e o aperfeiçoamento do planejamento urbano em uma cidade inteligente.

Poslonec-Petri *et al.* (2016) elaboraram um mapa georreferenciado de ruído na cidade de Zagreb/Croácia que, desde 2012, participa de um projeto de pesquisa para coleta de dados interoperáveis para cidades inteligentes em plataforma aberta. Os pesquisadores aproveitaram a plataforma existente, que já é utilizada para coleta e compartilhamento de dados relacionados à otimização do consumo de energia na cidade e que também possibilita monitorar outras variáveis do ambiente urbano. O trabalho consistiu em elaborar um mapa dinâmico do ruído na cidade. Para consolidação dos dados os cidadãos tiveram papel fundamental, pois seus telefones celulares foram utilizados como sensores distribuídos pela cidade. Por meio destes aparelhos foi possível efetuar medições dos níveis de ruído com uso de um aplicativo desenvolvido para efetuar as medições e enviá-las à plataforma. Os resultados permitiram conhecer melhor as fontes de ruídos e a elaboração de um diagnóstico e de proposição de medidas mitigadoras de ruído.

Güney (2016) buscou avaliar os desafios na elaboração de modelos tridimensionais de cidades para o desenvolvimento de cidades mais inteligentes. Neste sentido sua pesquisa concluiu que ainda é necessário aprimorar as plataformas GIS existentes, para que seja possível uma abordagem mais completa e holística viabilizando a análise e o monitoramento de cidades inteligentes. Ainda assim, diversas pesquisas têm se empenhado na elaboração de modelos de cidades em bases GIS e obtido bons resultados.

Em contrapartida, Ramlee *et al.*, (2019) desenvolveu um projeto piloto de modelagem tridimensional de cidades por meio do software *WebGIS QGIS*. A pesquisa, apesar de se limitar a análise da área de um campus universitário, obteve bons resultados, indicando que os modelos tridimensionais são ferramentas confiáveis para gerenciar a consulta de dados espaciais e visualizar os atributos de edifícios, infraestrutura urbana e instalações.

Fernández Moniz *et al.* (2020) trabalharam na elaboração de uma solução baseada em software tipo GIS para uma gestão mais eficiente da infraestrutura urbana de abastecimento de água potável da cidade de Las Palmas/Espanha. O sistema foi totalmente desenvolvido em software de código aberto, de licença pública. O trabalho desenvolvido permitiu a elaboração de um modelo de dados específico, com funcionalidades que proporcionaram

à cidade monitorar e validar dados relacionados à rede de distribuição de água, além de simular a operação do sistema, bem como de acessar dados históricos relacionados a interrupção e cortes no abastecimento. O sistema adotado pela empresa responsável pelo abastecimento de água beneficiou a cidade como um todo, uma vez que possibilitou que o banco de dados com a documentação da rede estivesse acessível em formato intercambiável para empresas e órgãos públicos que possuem interface com a infraestrutura de água. Desta forma, os autores concluíram que o novo sistema de gestão e monitoramento contribuiu, dentro de seus objetivos, com o desenvolvimento sustentável de uma cidade inteligente.

O trabalho desenvolvido por Murshed *et al.* (2018) também apresenta uma ferramenta baseada em WebGIS, de código aberto, para visualização dinâmica de dados geoespaciais tridimensionais com o objetivo de melhorar a tomada de decisões na gestão de uma cidade inteligente. O modelo proposto permitiu a integração de diversos resultados de simulação geoespacial, permitindo assim que usuários de diferentes empresas e órgãos públicos possam utilizá-los de forma interativa e satisfatória em atividades de simulação e planejamento dos processos urbanos.

Já o trabalho desenvolvido por Casella *et al.* (2016) apresenta uma nova metodologia desenvolvida para cálculo automatizado de um índice que avalia o grau de permeabilidade do solo urbano. O índice estudado é um dos parâmetros urbanos que pode indicar, sob um ponto de vista específico, o quanto uma cidade é sustentável. A técnica atualmente utilizada é baseada na construção manual de mapas com uso de ortofotos existentes e imagens digitalizadas como suporte. Entretanto, trata-se de um método caro, demorado e sujeito a erros de interpretação. A nova técnica se baseia no uso da cartografia digital e na aplicação de técnicas de geoprocessamento, sendo, portanto, uma apuração automatizada e mais precisa. O cenário para a elaboração do estudo de caso foi a cidade de Pavia/Itália, onde foram realizados testes e a validação da metodologia desenvolvida, por comparação com 12 áreas de teste levantadas manualmente, as quais corresponderam a 5% das áreas edificadas do município.

Gorički *et al.* (2017) avaliaram atributos geométricos e semânticos de uma cidade e de suas edificações de forma a elaborar um modelo de cidade com foco em analisar o potencial de geração fotovoltaica urbana. O estudo contribuiu com a eficiência energética urbana e tem potencial para colaborar com a promoção da sustentabilidade de cidades inteligentes. A pesquisa trata da elaboração de uma análise do potencial solar de uma área piloto em Krapina/Croácia por meio do modelo digital de superfície e com base nos dados disponíveis no Serviço Meteorológico e Hidrológico da República da Croácia. Os autores concluíram que é viável a instalação de uma área média de 19,6m² de painéis solares por domicílio, o que poderia conferir a autossuficiência das necessidades energéticas das residências existentes na região analisada.

O trabalho desenvolvido por Persai e Katiyar (2018) consistiu em consolidar e analisar informações de infraestrutura urbana da cidade de Bopal/Índia. Foram analisados em uma plataforma do tipo WebGIS ativos que compõem redes de água, energia, telecomunicações, mobilidade, transporte, áreas verdes e segurança. A pesquisa identificou e classificou áreas prioritárias para serem consideradas no planejamento urbano. Foram realizadas análises geoestatísticas e atribuídos pesos a indicadores e parâmetros urbanos. Os resultados obtidos indicaram que vários parâmetros relacionados ao

planejamento de cidades inteligentes podem ser analisados de forma mais eficiente por meio da metodologia de priorização com uso de plataformas GIS.

Sejati *et al.* (2020) também ressaltaram a utilidade, confiabilidade e a praticidade na análise de parâmetros urbanos por meio do uso de plataformas e aplicações Web GIS. Os resultados da pesquisa indicaram que sistemas GIS podem ser utilizados especialmente para a elaboração de políticas de planejamento de uso e ocupação do solo urbano. De acordo com os pesquisadores, a consolidação de dados urbanos neste tipo de plataforma pode contribuir de forma relevante para o monitoramento do uso da terra com base no princípio da divulgação e transparência de informações no contexto de cidades inteligentes e governança inteligente. Normas para Gestão de Cidades.

3. Procedimentos metodológicos

O presente estudo busca, por meio da análise de dados urbanos, contribuir com o aprimoramento de políticas públicas urbanas. Para o desenvolvimento da pesquisa foi delineada metodologia para conversão e padronização de dados urbanos da cidade de Belo Horizonte, disponibilizados em diferentes formatos. Assim, para consolidar e comparar os parâmetros e indicadores, foi necessário calcular e inserir novos atributos aos arquivos tais como informações relacionadas a localização (regional administrativa), levantamento de áreas, agrupamento de pontos, padronização de unidades de medida e formatação de arquivos com alta densidade de dados. Após realizar o tratamento vetorial de dados, com sobreposição e interseção de camadas e atributos georreferenciados, os arquivos foram convertidos do formato vetorial para planilhas eletrônicas, o que viabilizou análises comparativas entre regiões da cidade e, posteriormente, a correlação entre indicadores e parâmetros urbanos disponibilizados pelo município (BHGeo, 2022; PMBH, 2021; PMBH; Milênio, 2020).

O estudo considerou 62 indicadores disponibilizados pela prefeitura na base de dados do observatório do Milênio (PMBH; Milênio, 2020). Tais indicadores foram regionalizados, uma vez que indicadores globais não permitiriam uma análise comparativa. Os dados foram organizados e consolidados com o uso do software QGIS. Posteriormente foi realizada a correlação entre parâmetros e indicadores com uso de software de edição de planilhas. Os parâmetros utilizados descrevem características da cidade, por bairros, tais como a existência de estruturas e serviços urbanos, restrições e/ou exigências urbanísticas, área urbanizada, ocupação de espaços ao longo dos anos, características de imóveis, dentre outros parâmetros. Para fins de organização e apresentação sintética, os parâmetros considerados foram agrupados, conforme apresentado no Quadro 01.

Quadro 1: Lista de grupos dos 194 parâmetros.

Item	Grupo de Parâmetros	Número de parâmetros
1	Coleta Resíduos	4
2	Infraestrutura Urbana	18
3	Infraestrutura de Educação e Saúde	8
4	Instalações de Serviço social	2
5	Infraestrutura de Seg. Pública	2

6	Infraestrutura de Esporte	1
7	Desenvolvimento Área Urbana	21
8	Uso e Ocupação do Solo	31
9	Atividade Econômica	12
10	População e Renda	17
11	Meio Ambiente	43
12	Mobilidade	35

Fonte: Elaborado pelos autores com base em BHGEO, 2022.

A título de exemplo e, para melhor entendimento da metodologia empregada no trabalho, apresenta-se, por meio da figura 01, a camada denominada “cadastro imobiliário” que disponibiliza diversos parâmetros urbanos relativo a cada imóvel existente na cidade.

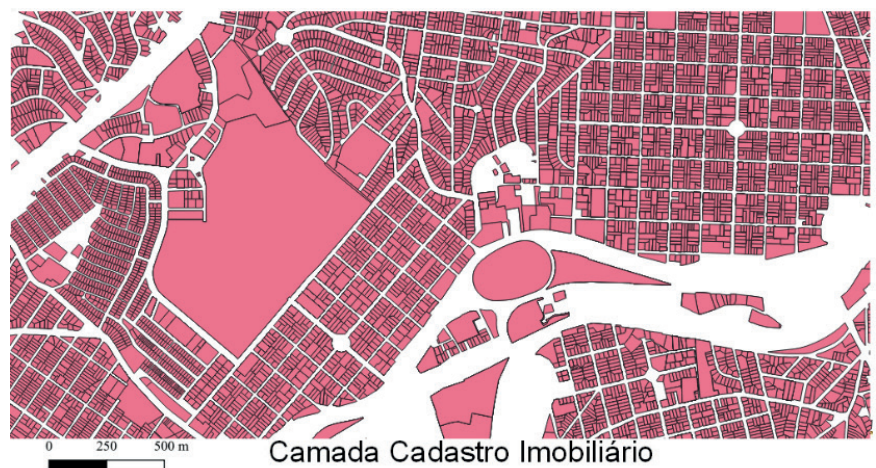


Figura 1: Camada Cadastro Imobiliário. Fonte: BHGEO (2022)

A sobreposição de camadas disponibilizou um modelo digital da cidade para a organização dos dados de forma espacial. Na referida camada os imóveis foram vetorizados individualmente pela prefeitura e, a cada um, foram inseridos atributos semânticos tais como área construída, área do terreno, tipo construtivo, padrão de acabamento, atendimento por serviços e infraestrutura, dentre outros. Para comparação entre as diferentes regiões da cidade, foi necessário tratar, agrupar e consolidar os parâmetros que são disponibilizados pela prefeitura por imóvel, para cada região da cidade.

A Tabela 01 apresenta, como exemplo, a consolidação de parte dos parâmetros urbanos relacionados a disponibilidade de infraestrutura pública por região da cidade. Cada linha foi considerada como um parâmetro urbano, dentre os 194 analisados, para posterior pesquisa de correlação com indicadores.

Tabela 01: Atendimento serviços e infraestrutura urbana.

Atendimento Infra / Serviços	BH	Bar-reiro	Centro Sul	Leste	Nor-deste	Noro-este	Norte	Oeste	Pam-pulha	Venda Nova
Pavimentação (unid.)	852658	63167	216438	66588	84540	80904	47397	121016	105166	67442
Galeria Drenagem Pluvial (unid.)	556903	32973	195864	34018	48893	46215	25085	77103	62766	33986
Iluminação Pública (unid.)	852139	63260	216433	66500	84421	80911	47459	120863	105064	67228
Rede de Esgoto (unid.)	826238	61617	213966	63654	80537	78966	45951	115883	101000	64664
Rede Água (unid.)	847229	63242	216370	65824	84091	80763	47096	118593	104303	66947
Rede Telefonia (unid.)	844416	62515	216142	65012	82649	80765	47179	118930	104354	66870

Fonte: Elaborado pelos autores com dados de BHGEO, 2022.

Também como exemplo, é apresentada a Tabela 02, por meio da qual são apresentados alguns dos 62 indicadores consolidados e analisados para verificação de correlação frente aos parâmetros urbanos.

Tabela 021: Indicadores regionalizados – ODS

Indicador	Regionais									
	BH	Bar-reiro	Cen-tro Sul	Leste	Nor-deste	Noro-este	Norte	Oeste	Pam-pulha	Venda Nova
001-I04 (2021) Proporção de pessoas em pobreza extrema pré-transferência de renda (em %)	43,6	46,0	53,7	45,7	39,5	32,6	53,1	34,5	38,50	45,17
003-I04 (2021) Taxa de mortalidade na Infância - menores de 5 anos (por mil nascidos vivos)	10,6	11,4	12,8	11,6	11,9	12,3	11,6	7,6	12,74	9,07
003-I12 Taxa de incidência de dengue (por 100 mil habitantes)	214	262	96	391	293	163	229	115	145	254

Fonte: Elaborado pelos autores com dados de PMBH, 2021.

Com os parâmetros e indicadores organizados em tabelas com dados consolidados por região, foi construída uma matriz de correlação. Como resultado foi obtida uma grande matriz com os parâmetros listados em 192 colunas e os indicadores organizados em 62 linhas. Nessa matriz, cada interseção entre indicador e parâmetro apresenta um coeficiente de Pearson. A Tabela 03 abaixo demonstra a organização das informações na matriz.

Tabela 03: Matriz de correlação - Coeficientes de Pearson.

Parâmetros	Indicadores	I01	I02
		Proporção de pessoas em pobreza extrema pré-transferência de renda (em %)	Taxa de mortalidade na Infância - menores de 5 anos (por mil nascidos vivos)
P01	Pavimentação (unid. imov. atend.)	0,053	-0,080
P02	Arborização (unid. imov. atend.)	0,141	0,000
P03	Galeria Drenagem Pluvial (unid. imov. atend.)	0,107	-0,041
P04	Iluminação Pública (unid. imov. atend.)	0,053	0,080
P05	Rede de Esgoto (unid. imov. atend.)	0,056	0,077
P06	Rede Água (unid. imov. atend.)	0,054	-0,078
(...)			
P192	Rede Telefonia (unid. imov. atend.)	0,054	0,078

Fonte: Elaborado pelos autores.

O número de correlações fortes foi consolidado para cada indicador, tal como pode ser visto no Quadro 02, que apresenta, a título de exemplo para entendimento da metodologia, parte das 62 colunas referentes aos indicadores.

Quadro 02: Número de correlações fortes por indicador.

Correlações Indicadores	I01	I02
	Proporção de pessoas em pobreza extrema pré-transferência de renda (em %)	Taxa de mortalidade na Infância - menores de 5 anos (por mil nascidos vivos)
Número de correlações positivas fortes (P>0,8)	6	3
Número de correlações Negativas fortes (P>0,8)	1	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a consolidação do número de correlações fortes, foram identificados os parâmetros mais influentes. Estes parâmetros foram analisados com foco em formular hipóteses que expliquem sua maior influência frente ao desempenho de um maior número de indicadores. Ao final das análises, foi possível concluir quais parâmetros exercem influência relevante no desempenho do maior número de indicadores urbanos sendo, possivelmente, os que possuem maior potencial no desenvolvimento de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

3.1 Correlação entre variáveis

A Correlação entre duas variáveis expressa a associação entre elas. O Coeficiente de correlação populacional de Pearson, entre duas variáveis aleatórias, mede o grau com que estas se associam linearmente, bem como se essa associação é positiva ou negativa (Devore, 2010). Dadas as variáveis aleatórias X e Y com valores médios μ_x e μ_y e desvios padrão σ_x e σ_y , superiores a zero, o coeficiente de correlação de Pearson ρ , pode ser calculado por meio da Equação 1.

(Equação 1)

$$\hat{\rho} = R = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Os valores de correlação de Pearson estão no intervalo $-1 \leq R \leq 1$. Quanto mais próximos de 1, ou de -1, mais forte será a correlação entre as variáveis. Neste sentido, as correlações fortes podem ser positivas ou negativas. Entretanto, um valor de R próximo de 0 sugere que não há uma relação linear entre as variáveis. Uma correlação positiva ocorre quando o aumento de uma variável está associado ao aumento de outra. Já uma correlação negativa acontece quando o aumento de uma variável leva à diminuição de outra. Uma correlação com $R \leq 0,5$ é considerada fraca, visto que em uma regressão de y sobre x tem-se que $R^2 = 0,25$, ou seja, apenas 25% da variação y seria explicada pelo modelo. Assim, um fator com valor compreendido no intervalo $0,5 \leq R \leq 0,8$ pode ser associado a uma correlação de força moderada e valores de $R \geq 0,8$ representa uma correlação forte. Para o presente trabalho foi adotado como referência, para identificar a força de uma correlação, os valores de $R \geq 0,8$, tal como sugerido por Devore (2010).

4. Organização dos parâmetros e indicadores

Ao estudar os parâmetros e indicadores urbanos de Belo Horizonte, percebe-se que a análise destes dados, de forma visual, demandaria muito tempo e trabalho minucioso para reconhecimento de padrões, sendo também necessário o uso de computadores e softwares específicos para uma observação interativa. Tal tipo de estudo poderia, ainda, ser suscetível a análises que possuam determinado viés por parte do observador. Assim, o cálculo do fator de correlação entre variáveis permitiu a realização de análises comparativas entre regiões da cidade.

Os 62 indicadores foram agrupados por Objetivo de Desenvolvimento Sustentável, conforme apresenta o Quadro 03.

Quadro 03: Indicadores por Objetivo de Desenvolvimento Sustentável.

ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável	Número de Indicadores
M-ODS	Índice de Qualidade de Vida Urbana - IQVU	1
ODS-01	Erradicação da Pobreza	5
ODS-02	Fome Zero	2
ODS-03	Saúde e Bem Estar	13

ODS-04	Educação de Qualidade	5
ODS-05	Igualdade de Gênero	3
ODS-06	Água Potável e Saneamento	5
ODS-07	Energia Limpa e Acessível	2
ODS-08	Trabalho Decente e Crescimento Econômico	1
ODS-09	Indústria, Inovação e Infraestrutura	1
ODS-10	Redução das Desigualdades	1
ODS-11	Cidades e Comunidades Sustentáveis	17
ODS-12	Consumo e Produção Responsáveis	1
ODS-14	Vida na Água	1
ODS-15	Vida Terrestre	2
ODS-16	Paz, Justiça e Instituições Eficazes	2
ODS-17	Parcerias e Meios de Implementação	0

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados de PMBH, 2021.

Os parâmetros e indicadores foram lançados em uma planilha para cálculo dos índices de correlação entre cada uma das variáveis. Para análise de correlação, os parâmetros e indicadores foram organizados e regionalizados, conforme pode ser visto no exemplo apresentado na Tabela 04.

Tabela 04: Exemplo de organização dos indicadores e parâmetros para cálculo do fator de correlação.

Regional	Indicador	Parâmetro
	População atendida por coleta seletiva porta a porta ou ponto a ponto (%)	Altura média das edificações (m)
BH	21,86	5,27
Barreiro	5,44	3,40
Centro Sul	82,57	9,57
Leste	5,17	5,38
Nordeste	12,21	5,20
Noroeste	3,52	5,08
Norte	3,33	4,68
Oeste	37,72	5,86
Pampulha	33,14	5,26
Venda Nova	5,16	4,75

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. Resultados

O cálculo da correlação entre os 62 indicadores e os 194 parâmetros urbanos foi feito de forma a verificar 12.028 coeficientes de correlação. Assim, foi possível identificar quantas correlações fortes ocorreram (coeficiente $> 0,8$, ou $< -0,8$) entre indicadores e parâmetros. Após esta análise, identificou-se que os parâmetros que obtiveram o maior número de correlações fortes com o resultado dos indicadores foram relacionados à presença de infraestrutura de rede de gás, atendimento por serviços de coleta de resíduos com maior frequência (diária), arborização, pontos de internet por wifi públicos, infraestrutura com unidades de atendimento hospitalar e ambulatorial, unidades de polícia, bem como a largura média dos logradouros.

5.1 Análise dos resultados

Ao analisar os parâmetros selecionados foi possível perceber que a cidade possui características heterogêneas relacionadas à infraestrutura, serviços, uso e ocupação do solo, demografia e renda. Ao observar, por exemplo, os parâmetros da região centro-sul de Belo Horizonte, é possível perceber que há um maior adensamento, renda e infraestrutura urbana disponível, quando comparada as demais regionais da cidade. Foi possível identificar que tais diferenças são refletidas em diversos outros parâmetros, como por exemplo na infraestrutura de mobilidade e serviços de transporte público.

Também foi possível perceber a prevalência de padrão de acabamento dos imóveis classificados pela prefeitura como luxuosos na área centro-sul, regional que possui 76% deste tipo de imóvel, bem como também responde por 54% dos imóveis com padrão de acabamento alto. Tal distribuição guarda coerência com os parâmetros de renda apurados no último censo do IBGE. Desta forma, os parâmetros relativos à renda, associados a outros de caráter econômico (como, por exemplo, a distribuição de empresas pelas regionais) e de uso/ocupação do solo (relativos à densidade populacional) parecem ser os que mais influenciam na configuração e nos indicadores da cidade.

Outro ponto que merece destaque é o melhor atendimento, ou seja, maior percentual de imóveis atendidos por serviços ainda não universalizados na cidade, mas existentes na regional Centro Sul. Dentre estes serviços destaca-se a coleta com frequência diária de resíduos sólidos que atende a 242.442 imóveis em toda a cidade, sendo que destes, 215.823 encontram-se nesta regional. Uma hipótese é que os imóveis desta regional produzam maior volume diário de resíduos, ou ainda que tal regional possua necessidades diferentes, tais como indicadores diferenciados por se tratar de área adensada ou com maior potencial comercial ou turístico, uma vez que detém atrações de interesse e imóveis históricos. Outra infraestrutura que também atende a regional Centro Sul de maneira diferenciada é a disponibilidade de fornecimento de gás natural.

De acordo com os dados analisados, a distribuição de gás por meio de gasodutos ainda é um serviço indisponível em 92% logradouros da cidade, por outro lado 36% de toda a infraestrutura disponível está localizada na regional Centro Sul. Uma hipótese para a priorização desta regional consiste em estudos de mercado que possam ter identificado maior potencial para consumo na região. Assim, considerando os demais dados da regional Centro Sul, tem-se que a maior renda está associada a melhor infraestrutura, visto que apenas a densidade populacional não é proporcional à maior disponibilidade de serviços e infraestrutura. Entretanto não é possível afirmar se há maiores investimentos por parte do poder público em regiões de renda

mais alta, ou se regiões nas quais há maior infraestrutura é mais procurada por famílias de maior renda. Por outro lado, é possível afirmar que a região centro-sul está contida na área planejada da cidade. Tal fato permite elencar a hipótese de que a ocupação ordenada, que ocorreu inicialmente na parte planejada da cidade, contribuiu para a consolidação de melhores condições de infraestrutura na região.

Já com relação a serviços e infraestrutura básicos (pavimentação, iluminação pública, água potável, esgoto sanitário, energia elétrica e telecomunicações) foi possível perceber que a cidade possui tratamento mais homogêneo entre as regionais, restando apenas pequenas lacunas pontuais. Entretanto, a análise não permite avaliar se o nível de qualidade no atendimento por este tipo de serviços e de infraestrutura apresenta variações entre regionais. Destaca-se também, que a regional centro-sul possui vias mais largas e arborizadas parâmetros que apresentaram correlações mais fortes e positivas com diversos indicadores.

Com relação aos riscos hidrogeológicos foi identificado que as regionais barreiro e norte, as mais afetadas pelos riscos de inundação, são também as que possuem maior extensão de cursos d'água em leito natural, ou seja, sem canalização. Entretanto, a maior extensão de cursos d'água em leito natural não pode ser diretamente associada a maior propensão a enchentes sem estudos mais aprofundados, visto que outras características específicas das bacias hidrográficas (tais como relevo, vazão, tipo de solo, dentre outros não estudados no presente trabalho) podem ser mais determinantes para maior propensão a inundações.

Ressalta-se também que a região centro-sul é a que possui maior área sujeita a riscos de escorregamento, o que pode ser relacionado a maior declividade média de seus logradouros, o que indica relevo mais acidentado. Assim, de uma maneira geral, ao realizar análises comparativas entre regionais, baseadas nos parâmetros selecionados, foi possível contextualizar melhor as especificidades da cidade, de forma a subsidiar a análise de correlação entre indicadores e parâmetros de forma setorizada.

5.2 Conclusões

Os estudos que se dedicam a conhecer melhor o ambiente urbano e o funcionamento das cidades são ferramentas importantes que podem contribuir e impactar positivamente a vida de grande parte das pessoas. Neste sentido, o levantamento georreferenciado da infraestrutura urbana é imprescindível para possibilitar a análise do desempenho e a efetividade de políticas públicas elaboradas pela administração das cidades.

Adicionalmente, evidenciou-se a grande importância e utilidade dos dados abertos. Espera-se que em um futuro próximo, com a disseminação contínua de tecnologias colaborativas e a consolidação do uso da rede de internet 5G, dados abertos, coletados em tempo real e em diversas partes do ambiente urbano, possam viabilizar a produção de mais conhecimento acerca da dinâmica das cidades. Além disso, tais dados poderão ser utilizados para a tomada de decisões e intervenções mais ágeis, assertivas e inteligentes por parte do poder público.

Destaca-se que o método utilizado para correlacionar parâmetros e indicadores, pode ser adaptado para uso em outras pesquisas. Assim, o trabalho também apresenta como contribuição a metodologia utilizada para tratamento de dados e correlação entre indicadores e parâmetros. Problemas

crônicos das grandes cidades como, por exemplo, aqueles relacionados a intensidade do tráfego de veículos, não apresentaram correlação forte com nenhum dos indicadores regionalizados disponíveis, possivelmente em função do recorte de dados utilizado.

Em síntese, o presente trabalho tem como uma das suas principais contribuições a metodologia e os procedimentos adotados para tratar e consolidar os dados provenientes de bases abertas e que são pouco exploradas pela administração pública, bem como pouco consultadas pela população. As diversas atividades e processos desenvolvidos no ambiente urbano geram grande quantidade de dados. Entretanto, é indispensável que, além de disponibilizados ao público, os dados sejam inteligíveis, interoperáveis e de fácil consulta, para que possam ser transformados em informações úteis. Desta forma, será possível promover uma maior participação da sociedade nas decisões da administração pública municipal, com foco na eficiência dos serviços e infraestrutura urbana, contribuindo com o desenvolvimento de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

Referências

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. BHGEO, 2022. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/bhgeo>. Acesso em: 14 dez. 2022.

CASELLA, V.; FRANZINI, M.; DE LOTTO, R. Geomatics for smart cities: Obtaining the urban planning baf index from existing digital maps. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 41, n. jul, p. 689—694, 2016.

DEVORE, Jay L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. [s. l.]: Cengage Learning Edições Ltda, 2010.

DOLD, Juergen; GROOPMAN, Jessica. The future of geospatial intelligence. **Geo-Spatial Information Science**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 151—162, 2017.

FERNÁNDEZ MONIZ, Pablo et al. A GIS-based solution for urban water management. **Water International**, [s. l.], v. 45, n. 6, p. 660—677, 2020.

FRAGA-LAMAS, Paula; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M.; CASTEDO, Luis. Towards the internet of smart trains: A review on industrial IoT-connected railways. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 17, n. 6, 2017.

GORIČKI, M. et al. Analysis of solar potential of roofs based on digital surface model. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 42, n. 4W3, p. 37—41, 2017.

GUIMAR, Carlos Alberto; SZPIZ, Helga. IBGE estima população do país em 211,8 milhões de habitantes. **Agência de Notícias | IBGE**, [s. l.], v. 1410, p. 6—11, 2020.

GUNNEY, C. Rethinking GIS towards the vision of smart cities through CityGML. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 42, n. 2W1, p. 121—129, 2016.

HÄMÄLÄINEN, Mervi. A Framework for a Smart City Design: Digital Transformation in the Helsinki Smart City. **Contributions to Management Science**, [s. l.], n. September 2019, p. 63—86, 2020.

KANKAALA, Kari et al. Smart city actions to support sustainable city development. **Techne**, [s. l.], v. SpecialSer, n. 01, p. 108—114, 2018.

MOUSAVI, Mirrasoul J.; MCGRAIL, Tony; VARADAN, Siri. Monitoring and diagnostics. **Smart Grids: Advanced Technologies and Solutions, Second Edition**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 385—395, 2017.

MURSHED, Syed Monjur et al. Design and implementation of a 4D web application for analytical visualization of smart city applications. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], v. 7, n. 7, 2018.

PERSAI, Prashant; KATIYAR, Sunil Kumar. Development of Information Evaluation System for Smart City Planning Using Geoinformatics Techniques. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, [s. l.], v. 46, n. 11, p. 1881—1891, 2018.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Planejamento e Orçamento - Indicadores ODS**. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/planejamento/planejamento-e-orcamento/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/indicadores-ods>. Acesso em: 25 jun. 2021.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Relatório de Acompanhamento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de Belo Horizonte 2020**. Belo Horizonte: Observatório do Milênio, 2020. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/planejamento/relat_ods_bh_2020.pdf.

POSLONEC-PETRI, V.; VUKOVI, V.; FRANGEŠ, S. VOLUNTARY NOISE MAPPING for SMART CITY. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 4W1, p. 131–137, 2016.

RAMLEE, S. S. S. et al. Towards 3D Smart Campus Via 3D City Modelling. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 42, n. 4/W16, p. 523–526, 2019.

SEJATI, Anang Wahyu et al. Open-source web GIS framework in monitoring urban land use planning: Participatory solutions for developing countries. **Journal of Urban and Regional Analysis**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 19–34, 2020.

STADLER, Reinhold Lehel. Icts As a Tool To Increase the Attractiveness of Public Spaces / Ikt Kaip Viešųjų Erdvių Patrauklumo Didinimo Priemonė. **Mokslas - Lietuvos ateitis**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 216–228, 2013.

TRAVIS, Charles. GeoHumanities, GIScience and Smart City Lifeworld approaches to geography and the new human condition. **Global and Planetary Change**, [s. l.], v. 156, p. 147–154, 2017.

VANOLO, Alberto. Smartmentality: The Smart City as Disciplinary Strategy. **Urban Studies**, [s. l.], v. 51, n. 5, p. 883–898, 2014.

WILSON, Bev; CHAKRABORTY, Arnab. Planning Smart(er) Cities: The Promise of Civic Technology. **Journal of Urban Technology**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 29–51, 2019.

YIGITCANLAR, Tan; KAMRUZZAMAN, Md. Does smart city policy lead to sustainability of cities?. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 73, 2017, p. 49–58, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.034>.

ZANELLA, Andrea et al. Internet of things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.

TRANS VERSO

08 Estudo comparativo entre os métodos de produção tradicional e impressão 3D de órteses plantares

recebido em 13/09/2024
aprovado em 13/10/2024

Estudo comparativo entre os métodos de produção tradicional e impressão 3D de órteses plantares

Bárbara Bernadelli Ribeiro

bernadelli@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Sofia Maria Mecnas Areias Lima

sofia.areias@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Laura Duarte Santana

lauraduarte@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Pedro Henrique Gonçalves

pedrogoncalves@ufg.br
Universidade Federal de Goiás

RESUMO (PT): Este estudo explora o uso de órteses plantares para membros inferiores, com ênfase em dois métodos de produção, tendo em vista sua relevância no tratamento de disfunções biomecânicas. A fabricação de palmilhas personalizadas, por meio da impressão 3D, é apresentada como uma alternativa inovadora e sustentável, que emprega polímeros avançados. O objetivo principal é comparar a produção tradicional de palmilhas com a produção por manufatura aditiva, no que diz respeito à geração de resíduos. Para isso, utilizou-se os processos de fabricação desenvolvidos pelo Centro de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER) e pelo Laboratório de Estudos e Inventividades em Tecnologias Assistivas (Lab.EITA) da UFG. Mediante a avaliação e comparação da geração de resíduos entre os métodos, nota-se que a impressão 3D oferece vantagens consideráveis, como a geração mínima de resíduos, menor dependência de trabalho manual e maior personalização e velocidade, o que pode revolucionar a indústria de palmilhas ortopédicas.

Palavras-chave: órteses, impressão 3D, palmilhas.

ABSTRACT (ENG): This study explores the use of plantar orthoses for lower limbs, with emphasis on two production methods, considering their relevance in the treatment of biomechanical dysfunctions. The manufacture of customized insoles, through 3D printing, is presented as an innovative and sustainable alternative, which employs advanced polymers. The main objective is to compare the traditional production of insoles with production by additive manufacturing, with regard to waste generation. For this, the manufacturing processes developed by the Dr. Henrique Santillo Rehabilitation and Readaptation Center (CRER) and the Laboratory of Studies and Inventiveness in Assistive Technologies (Lab.EITA) of UFG were used. By evaluating and comparing the waste generation between the methods, it is noted that 3D printing offers considerable advantages, such as minimal waste generation, less dependence on manual labor and greater customization and speed, which can revolutionize the orthopedic insole industry.

Keywords: orthotics, 3D printing, insoles.

1. Introdução

A órtese é um dispositivo aplicado externamente que tem como objetivo melhorar a qualidade do movimento de um indivíduo, podendo ser aplicada em várias partes do corpo. As órteses para o membro inferior podem ser de diversos tipos, como a órtese para quadril, joelho, tornozelo e pé (HKAFO), joelho, tornozelo e pé (KAFO), tornozelo e pé (AFO) e órtese para o joelho (KO), para o quadril (HpO) e para o pé (FO) (Brasil, 2014, p. 210).

A órtese para o pé ou órtese plantar (FO) tem várias funções, como correção, compensação, proteção e algumas combinam controle funcional com proteção (Crabtree *et al.*, 2009, p.2), sendo indicadas para pessoas de todas as idades que apresentem problemas nos pés ou membros inferiores. O tipo de órtese escolhida dependerá da necessidade de cada indivíduo, podendo se apresentar sob a forma de sapatos, sapatos modificados e palmilhas (pré-fabricadas ou personalizadas).

As órteses plantares personalizadas são abundantemente prescritas após avaliações em movimento e de forma estática para verificar os tipos de pisada e quais as órteses plantares necessitam ser prescritas. Além de redistribuir as pressões, elas são capazes de minimizar dores ou até melhorar o desempenho esportivo, já que são confeccionadas sob medida para o pé do indivíduo usando impressão plantar.

Durante a produção de órteses plantares personalizadas, faz-se necessário a realização de uma análise prévia dos pés, a fim de verificar se há desajustes nos pés como pronação e supinação, além da altura dos arcos plantares e análise da marcha (Whittle, 2007). As palmilhas podem ter diversas indicações como para reduzir a pressão plantar e minimizar problemas plantares associados aos problemas musculoesqueléticos, assim como para aumentar a performance em atletas (Seger, F., 2017, p. 44). Elas devem ter a função de reduzir e distribuir as pressões plantares entre os pontos de apoio, para minimizar o estresse nesses pontos durante a execução de atividade física ou em longos períodos em pé (Davia-Aracil; Hinojo-Pérez; Jimeno-Morenilla, 2018, p. 38).

A produção individualizada e personalizada das palmilhas possibilita o controle da pressão plantar de diferentes tipos de morfologias dos pés, visto que cada usuário possui uma biomecânica distinta. Dessa forma, o potencial de tratamento proposto proporcionará desenvolver um material adequado para atender aos requisitos mecânicos e clínicos individuais e assim favorecer o tratamento.

A produção das palmilhas tem início por meio da captura da geometria do pé, seja por meio da digitalização ou manualmente e depois passa pela fase de design. Nessa fase são realizadas as correções dos moldes no negativo ou positivo ou com o uso de "CAD 3D", que pode ser por meio da manufatura rápida.

Segundo Park (Park, 2021, p. 12), a manufatura aditiva é um modo de produção sustentável, pois economiza materiais e energia, minimizando o impacto ambiental. Ademais, a impressão 3D permite uma versatilidade no design e na adaptação ao produto. Trata-se de uma técnica que utiliza a deposição de material, formando uma camada sobreposta sobre outra, camada por camada, para criar o objeto tridimensional.

Nesse contexto, existe uma variabilidade de materiais que podem ser utilizados nessa técnica, entretanto, os polímeros de alto desempenho, os nanocompósitos, são bastante utilizados na impressão 3D. Polímero de alto

desempenho é um grupo de materiais poliméricos que são conhecidos por reter suas propriedades mecânicas, térmicas e químicas desejáveis quando submetidos a ambientes agressivos, como elevada temperatura, pressão e corrosão. Esses polímeros, quando agregados a nanocargas (nanotubo de carbono), nanoargila e grafeno, têm a capacidade de potencializar suas propriedades mecânicas, inclusive fornecendo condutividade térmica e elétrica (Leon *et al.*, 2016, p. 6).

Giannopoulos *et al* (2016, p. 4), em uma revisão, relatam que o uso da impressora 3D, melhora significativamente a comunicação com os pacientes e possui um potencial revolucionário para a prática clínica. A máquina tem sido utilizada, por exemplo, com aplicabilidade na área cardiovascular na assistência diagnóstica, em algoritmos de gerenciamento em doenças cardiovasculares complexas e também em planejamento e simulação de procedimentos cirúrgicos e intervencionistas.

Nos últimos anos, o uso da impressão 3D na fabricação das órteses plantares se mostrou promissor ao possibilitar a adição de novas propriedades às palmilhas, conferindo valor agregado. A manufatura aditiva permite, por exemplo, áreas ocas ou com maior densidade de filamento, definidas previamente no design da palmilha, que podem contribuir para absorção de choque, flexibilidade e alteração dos pontos de pressão plantar (Davia-Aracil; Hinojo-Pérez; Jimeno-Morenilla, 2018, p. 43).

O objetivo deste estudo é comparar, com foco na geração de resíduos durante as etapas, o método de produção de palmilha tradicional com o método de produção por prototipagem rápida.

2. Procedimentos metodológicos

A produção tradicional de desenvolvimento das palmilhas foi descrita com base no processo adotado pela Oficina Ortopédica do Centro Estadual de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER), localizado em Goiânia (GO). A produção por prototipagem rápida foi apresentada de acordo com a produção do Laboratório de Estudos Inventivos em Tecnologias Assistivas (Lab. E.I.T.A) da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizado também em Goiânia.

2.1. Produção tradicional

O processo de desenvolvimento tradicional de órteses no CRER é realizado por meio de um molde de gesso e é um processo artesanal ainda muito utilizado, principalmente nos centros de saúde. Este método envolve uma série de etapas meticulosas e detalhadas que resultam em palmilhas feitas sob medida para os pés dos usuários.

2.1.1. Molde negativo do pé

Na primeira etapa, por meio de uma caixa de espuma copiadora, é possível obter o molde inicial do pé. O paciente deve estar sentado, com o joelho flexionado em 90° e posicionar os dois pés no centro de cada caixa de espumas. Dessa forma, ao ser afundada, ela reproduz a forma dos dois pés, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1 - Produção do molde negativo: caixa de espuma copiadora e molde negativo do pé. Fonte: Brasil, 2014.

O formato dos pés que foi reproduzido na espuma permite o desenvolvimento do molde negativo do pé, que será preenchido na próxima etapa com gesso.

2.1.2. Molde positivo do pé

Nessa etapa, o molde negativo pode ser preenchido com gesso que, após a secagem, é retirado da espuma copiadora formando o molde positivo, mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Produção do molde positivo: preenchimento da espuma com gesso e molde positivo. Fonte: Brasil, 2014.

A partir da secagem do material, os moldes positivos são acrescidos de uma camada extra de gesso nos pontos em que se objetiva alívio, enquanto onde se pretende aumentar a pressão, uma camada de gesso é retirada.

2.1.3. Moldagem da palmilha

Após esses ajustes, o molde segue para a etapa de modelagem da palmilha. O material, normalmente composto pelo polímero de Etileno Acetato de Vinila (EVA), é recortado e colocado em um forno com temperatura em torno de 200°C, por cerca de 20 segundos, observado na Figura 3.



Figura 3 - Moldagem do EVA: molde positivo e EVA no forno. Fonte: Adaptação de Brasil, 2014.

A borracha de EVA pode variar de acordo com o nível de rigidez que se pretende alcançar. Os valores para sua espessura podem ser de dois, quatro ou oito milímetros e para a densidade 17 ou 35. Dessa forma, após sair do forno, o material é colocado sobre o molde, como pode ser visto na Figura 4, uma mesa de sucção que copia a superfície do molde para o EVA.



Figura 4 - Moldagem do EVA: Sucção do EVA no molde. Fonte: Adaptação de Brasil, 2014.

2.1.4. Acabamento

Após o resfriamento do EVA, o recorte é realizado e a palmilha está pronta, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Palmilha pronta. Fonte: Brasil, 2014.

2.2. Produção por prototipagem rápida

A prototipagem rápida é um processo fundamental na concepção e desenvolvimento de produtos, que permite a criação rápida de modelos físicos ou protótipos de um design. Essa abordagem faz o uso de tecnologias avançadas, como a impressão 3D, para produzir modelos tridimensionais precisos em um curto período de tempo. Ao unir essa tecnologia com o escaneamento 3D, o processo torna-se ainda mais individualizado e preciso.

2.2.1. Levantamento da geometria do pé

O levantamento tridimensional do pé do indivíduo é fundamental para a produção personalizada da palmilha, o que garante a fidelidade das dimensões do objeto produzido. No caso desta pesquisa, foi utilizado um *scanner 3D*, que, de um modo geral, é definido como qualquer dispositivo digital sem contato, não destrutivo, que utiliza luz ou laser para capturar com precisão a forma de um objeto físico em dados CAD (*Computer Aided Design*).

Para o processo, foi utilizado um *scanner 3D EinScan PRO 2X Plus* que possui uma precisão de 0.05 ~ 0.01 mm. Durante o escaneamento, o paciente, que

pode estar sentado ou em pé, apoia o seu pé em uma plataforma estática transparente, de tal forma que seja possível reproduzir a forma aproximada do apoio do pé no chão, como mostra a Figura 6.

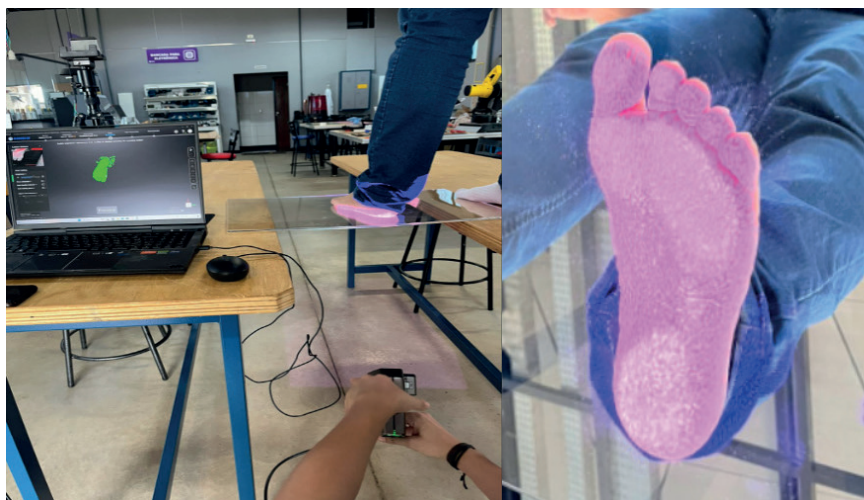


Figura 6 - Processo de escaneamento: utilização do scanner e vista posterior do pé ao ser escaneado. Fonte: Autores, 2024.

Após o escaneamento do pé, um tratamento da nuvem de pontos é realizado, o que permite a criação do arquivo STL (acrônimo que significa estereolitografia, formato comum na impressão 3D).

2.2.2. Modelagem 3D

Na etapa seguinte, após a obtenção do modelo do pé, a modelagem da palmilha é realizada. Para isso, o *software* “Gensole” foi utilizado, por ser um *software* gratuito e também por possibilitar construir palmilhas ajustadas, conforme Figura 7.

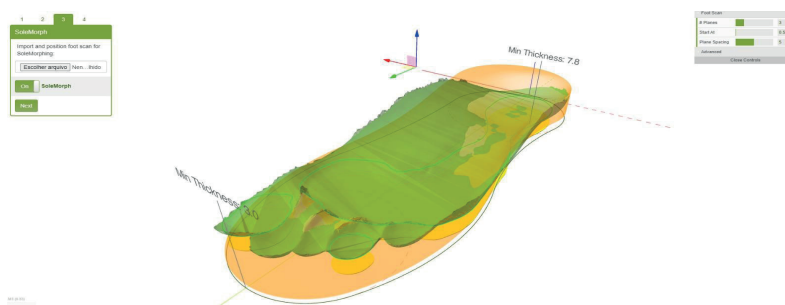


Figura 7 - Modelagem da palmilha - “Gensole”. Fonte: Autores, 2024.

O programa utiliza o “*Solemorph*”, um processo que molda a superfície superior da palmilha de acordo com a geometria do pé. Isso é feito por meio da possibilidade de alterar a densidade, com áreas de malha mais grossa ou mais fina para compensar áreas de alta pressão, além do ajuste das curvas da palmilha para combinar com cada calçado e da inclusão de furos na parte superior ou nas superfícies para melhor fluxo de ar e estimulação das células sanguíneas.

2.2.3. Impressão 3D

Depois de projetar a palmilha por meio do *software* "Gensole", o arquivo é exportado, em formato AMF (*Módulo Advanced Format*), para o Slic3r. A importância dessa ação reside na função que a extensão permite de construir um modelo 3D com diferentes arquivos, possibilitando configurações de materiais com diferentes densidades na impressão 3D. Em seguida, para a impressão da palmilha, o modelo foi preparado no *software* "SLICER", sendo este um *software open source* para ajuste fino e processamento do modelo tridimensional. Ele tem o objetivo de converter o arquivo em instruções para a impressora 3D, conhecido como G-CODE e impresso no equipamento do modelo *Creality Ender 3 S1 PRO* (Figura 8), possui um bico de 0,4mm e densidade de preenchimento variando por zona de pressão.

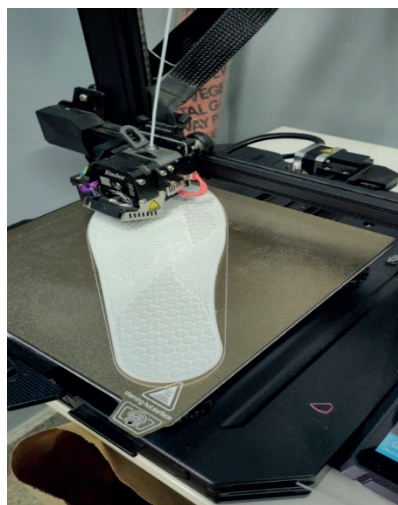


Figura 8 - Impressão da palmilha por meio da impressora 3D. Fonte: Autores, 2024.

Para a escolha do material de impressão, o *UltraFlex TPU 40 SHORE D* (termoplástico de ácido polilático com base em amido de milho) foi selecionado por apresentar propriedades de elasticidade, resistência à abrasão, material comumente utilizado na impressão 3D para a produção de palmilhas ortopédicas, modelos de próteses, solas sandálias, entre outros. A palmilha impressa pode ser vista na Figura 9.



Figura 9 - Palmilha impressa. Fonte: Autores, 2024.

2.2.4. Pós-processamento

Por fim, a palmilha é revestida com Neoprene, que foi recortado em uma máquina de corte à laser, observado na Figura 10.

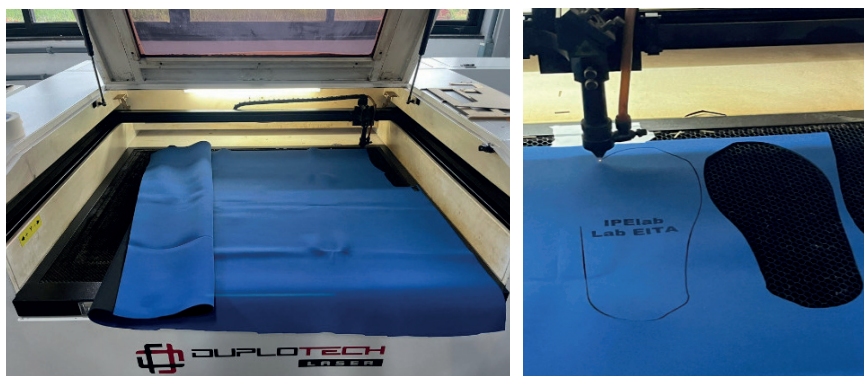


Figura 10 - Corte do Neoprene na máquina de corte à laser: máquina de recorte e recorte do Neoprene. Fonte: Autores, 2024.

Nesse contexto, com o objetivo de gerar mais conforto ao indivíduo, o processo chega ao fim, com a palmilha revestida pelo Neoprene (Figura 11).



Figura 11 - Palmilha com o Neoprene. Fonte: Autores, 2024.

3. Resultados

No processo de fabricação tradicional, observa-se a dependência da habilidade manual de profissionais qualificados e experientes nos processos de moldagem do gesso. Nesse processo, o ortesista precisa modificar o molde anatômico de gesso de cada paciente, adicionando ou removendo material, conforme as necessidades de correção postural de cada usuário. Da mesma forma, o processo de produção das palmilhas por meio da impressão 3D exige a necessidade de um profissional qualificado, com experiência no uso de softwares e equipamentos utilizados nesse tipo de processo, além de conhecimento sobre as áreas onde deve haver maior ou menor deposição de material por camada, que irão variar de acordo com a necessidade individual de cada paciente.

Em relação ao tempo de entrega, a palmilha produzida por meio do método de produção tradicional analisado levou cerca de três meses para ser entregue, considerando o dia da primeira visita do paciente à clínica até o dia de finalização da palmilha. Por meio do método de produção de impressão 3D, é possível reduzir esse tempo de entrega para três dias, sendo que o tempo de levantamento da geometria do pé foi de cerca de uma hora, o tempo da etapa de modelagem, três horas, a impressão de quatro horas e trinta minutos e, por fim a adição do Neoprene levou cerca de 20 minutos. Para isso, deve ser levado em consideração que, no momento em que a coleta de dados foi realizada, a demanda de palmilhas no CRER era alta e que o número de funcionários era reduzido. Além disso, a produção da palmilha em 3D poderia ter esse tempo reduzido para a entrega no mesmo dia, mas

devido a coleta de dados de etapa por etapa para o trabalho realizado, esse tempo foi estendido.

Outro aspecto importante a ser considerado diz respeito à personalização. No método tradicional, há limitações, e ajustes manuais são frequentemente necessários para adaptar o produto ao pé do usuário, o que gera mais resíduos à medida que cada ajuste é feito. Por outro lado, o modelo digital pode ser facilmente modificado para atender às necessidades específicas de cada usuário, como a inclusão de suportes adicionais, a utilização de mistura de materiais diferentes, a alteração da densidade de material e o design personalizado para uma melhor adaptação e conforto. Ressalta-se ainda que os materiais utilizados na impressão 3D desta palmilha são recicláveis e biodegradáveis, o que pode reduzir ainda mais o impacto ambiental ao permitir que os resíduos sejam reciclados e reutilizados.

Ademais, no processo convencional utiliza-se de materiais de alto impacto ambiental. O EVA, por exemplo, é um dos polímeros mais comumente achados em microplásticos dos descartes urbanos e industriais de afluentes (Hajji *et al.*, 2024). Ainda, o uso do gesso traz diversas consequências, considerando a geração de vários resíduos ao longo de sua cadeia produtiva, desde a extração do minério até o descarte inadequado do material, os quais promovem a redução da vegetação nativa, contaminação do lençol freático e emissão de gases poluentes atmosféricos (Pinheiro, 2011, p. 61 e p. 94).

Além disso, também há o descarte de um par de caixas de espuma copiadora para cada paciente. Em contrapartida, na manufatura aditiva o filamento usado é um termoplástico a base de amido de milho, ou seja, é biodegradável, além de que o uso da máquina de corte à laser traz uma precisão que permite gerar o mínimo de sobras do material Neoprene.

O fluxograma abaixo (Figura 12), ilustra a comparação entre esses dois processos, com foco na geração de resíduos.

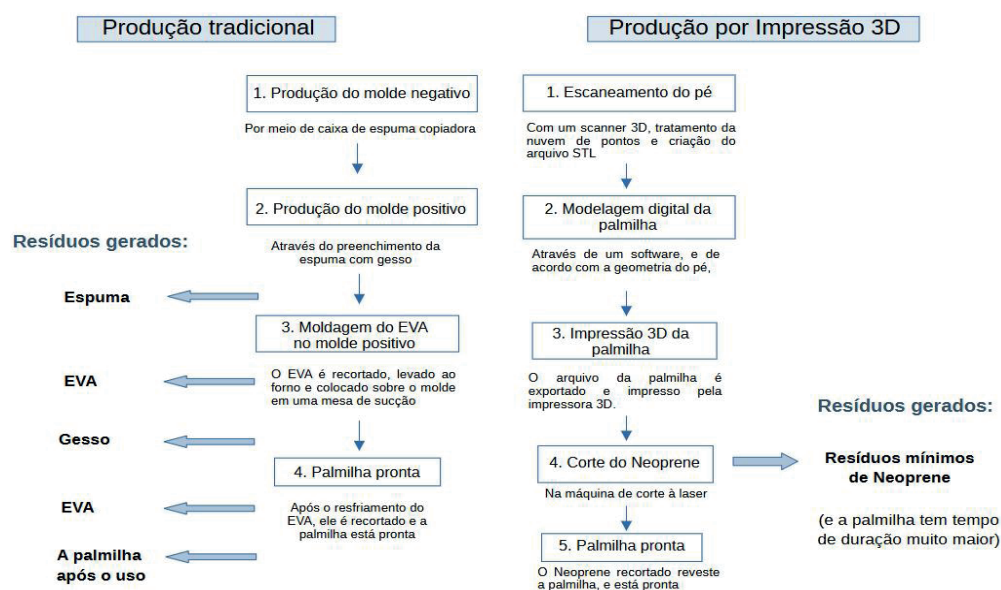


Figura 12 - Fluxograma da produção tradicional e da impressão por prototipagem rápida.
Fonte: Autores, 2024.

De modo geral, as palmilhas em impressão 3D geram menos resíduos de material e otimizam o uso dos recursos, tornando-as potencialmente mais sustentáveis em comparação ao método tradicional. Sendo assim, este método de produção diminui os impactos ambientais, consumo de energia e reduz a pegada de carbono. Como proposta para um trabalho futuro, seria interessante quantificar a quantidade de resíduos gerados com o intuito de estabelecer também o custo do processo dos dois modelos de produção, tanto no campo de materiais como também nas questões de descarte. Isso permitiria uma análise comparativa mais abrangente entre o método tradicional e a impressão 3D, considerando não apenas os aspectos técnicos e de personalização, mas também os impactos econômicos e ambientais de cada abordagem.

A produção de palmilhas, tanto pelo método convencional quanto pela impressão 3D, envolve diferentes impactos e benefícios, que podem ser analisados sob as perspectivas ambientais, econômicas e sociais. O método convencional, amplamente utilizado na indústria, apresenta desafios relacionados ao consumo de materiais, energia e descarte, enquanto a impressão 3D surge como uma alternativa inovadora, ambientalmente mais eficiente e sustentável. O quadro abaixo (Quadro 1) explora essas diferentes vertentes, evidenciando as vantagens e desvantagens de cada método, com foco nos impactos ambientais, econômicos e sociais envolvidos.

Aspecto	Produção Tradicional	Produção por prototipagem rápida
Ambiental	Geração de resíduos desde as etapas: descarte de espuma, EVA e gesso. Descarte da palmilha após o uso.	Redução de resíduos: geração de resíduo mínimo de Neoprene. A palmilha pode ter seu filamento reaproveitado após o uso.
	Materiais com alto impacto ambiental: O EVA, por exemplo, é um dos polímeros mais comumente achados em microplásticos dos descartes urbanos e industriais de afluentes (Hajji, <i>et al.</i> , 2024).	Material biodegradável (termoplástico de ácido polilático com base em amido de milho).
Econômico	Processo de moldagem e secagem realizados de forma segmentada, podendo levar até meses para serem finalizadas e entregues ao consumidor final.	A impressão da palmilha é feita em 4 horas e 30 minutos e pode ser entregue no mesmo dia do escaneamento dos pés.
	Fabricação manual, requer mais de um profissional para atender a demanda das etapas, elevando os custos de produção.	Fabricação em processo automatizado de deposição de material por camada para a construção do objeto - economia de mão de obra e recursos financeiros.
	Requer grande espaço físico para acomodação da oficina e maquinário de produção (forno, local de secagem dos moldes, mesa de sucção).	Necessário apenas o espaço para acomodar a impressora 3D e o scanner.

Social	Em caso de necessidade de alterações, todo o processo de confecção da palmilha, incluindo a modelagem em gesso, precisa ser reiniciado.	Em situações de alterações, o arquivo digital do modelo da palmilha pode ser salvo e reutilizado para futuras modificações, o que permite ajustes rápidos e econômicos, sem a necessidade de refazer todo o processo de modelagem inicial.
	Estilização não é possível em palmilhas pré-fabricadas.	Possibilidade de versatilidade no design e na adaptação dos produtos a partir das demandas do consumidor.

Quadro 1 - Comparação dos aspectos ambientais, econômicos e sociais entre a produção de palmilhas convencionais e impressas em 3D. Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

4. Discussões

As órteses personalizadas são consideradas um padrão *Standart* e custam mais que as pré-fabricadas, que não possuem uma altura do arco adequada e boa durabilidade (Majumdar *et al.* 2013, p.1). Nesse sentido, seria ideal que as palmilhas personalizadas mantivessem maior eficácia e funcionalidade em relação às outras e permitissem a produção por um custo baixo, com menor geração de resíduos.

Como foi demonstrado, o processo convencional atualmente utilizado pelo CRER demanda trabalho manual em todas as etapas e há descarte de espuma, gesso e da própria palmilha após o uso. Em comparação, a fabricação de palmilhas pela prototipagem rápida retira a necessidade do gesso e da termomoldagem, além de permitir que o processo seja menos dependente do trabalho manual e mais sustentável por gerar uma quantidade mínima de resíduos, no processo de corte à laser do Neoprene, e possibilitar que o termoplástico da palmilha seja reutilizado após o uso, reduzindo os custos a longo prazo. Além disso, a palmilha impressa tridimensionalmente apresentou 59g de peso, mostrando-se mais leve em comparação a palmilha convencional de tamanho aproximado, com 68g, podendo representar maior conforto ao usuário.

O sistema de produção por prototipagem ainda apresenta vantagens em relação à precisão na aplicação de diferenças de pressão. Nesse processo, é possível alterar de forma quantificada os níveis de densidade para cada área da palmilha, de acordo com o escaneamento obtido da geometria pé. Já na produção convencional, os níveis de densidade da palmilha são alterados pela adição de mais camadas de EVA ou por meio do lixamento ou incremento de gesso ao molde positivo antes da moldagem do EVA.

5. Considerações finais

A análise e comparação da geração de resíduos ao longo das várias fases de produção de uma palmilha ortopédica são de extrema importância, pois destacam a necessidade de minimizar o desperdício durante o processo de fabricação. Conclui-se que, para uma análise abrangente e robusta do processo de produção de palmilhas tradicionais em comparação com as produzidas em 3D, seria ideal implementar uma avaliação quantitativa mais aprofundada, com foco no ciclo de vida completo das duas produções. Recomenda-se, portanto, que futuras pesquisas incorporem essa abordagem metodológica

mais abrangente para oferecer uma compreensão mais completa e precisa das diferenças entre os dois métodos de produção de palmilhas.

Este estudo, ao explorar as potencialidades do processo de fabricação, visa não apenas avaliar as capacidades desta metodologia, mas também identificar oportunidades para desenvolver novos protocolos de produção de palmilhas ou aprimorar produtos existentes. Além disso, busca-se compreender o uso e o impacto das metodologias alternativas na geração de resíduos durante a produção.

Ao avaliar os resultados à luz desses objetivos, torna-se evidente que o método de pesquisa empregado foi eficaz em fornecer percepções sobre as práticas existentes e as possibilidades de inovação na produção de palmilhas ortopédicas. Isso destaca a importância de métodos de pesquisa para orientar a melhoria contínua na indústria, contribuindo para a redução do desperdício e o desenvolvimento de produtos mais eficientes e sustentáveis. Por fim, a adoção da produção em impressão 3D oferece vantagens nos aspectos ambientais, econômicos e sociais: como personalização, velocidade, custo e simplificação do design, o que pode revolucionar a indústria de palmilhas ortopédicas.

Agradecimentos

Este trabalho foi possível graças à oportunidade de participação dos autores no Programa de Iniciação à Pesquisa (PIP) da Universidade Federal de Goiás (UFG), além do fomento fornecido, durante a pesquisa, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela UFG.

Referências

- BRASIL. Ministério da Saúde. **Técnico em órteses e próteses: livro-texto**. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde, Departamento de Gestão do Trabalho na Saúde, 2014.
- CRABTREE, P., DHOKIA, V. G., NEWMAN, S. T., ANSELL M. P. Manufacturing Methodology for Personalised Symptom-Specific Sports Insoles. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, p. 972–979, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2009.04.016>.
- DAVIA-ARACIL, M.; HINOJO-PÉREZ, J. J.; JIMENO-MORENILLA, A. Impressão 3D de palmilhas anatômicas funcionais. **Indústria de Computação**, v. 95, p. 38-53, 2018.
- GIANNOPOULOS, A. A.; MITSOURAS, D.; YOO, S.-J.; LIU, P. P.; CHATZIZISIS, Y. S.; RYBICKI, F. J. Applications of 3D printing in cardiovascular diseases. **Nature Reviews Cardiology**, v. 13, n. 12, p. 701–718, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2016.170>.
- HAJJI, S.; BEN-HADDAD, M.; ABELOUAH, M.R.; RANGEL-BUITRAGO, N.; ALLA, A.A. Microplastic characterization and assessment of removal efficiency in an urban and industrial wastewater treatment plant with submarine emission discharge. **The Science of The Total Environment**, v. 945, p. 174115–174115, out. 2024.
- LEON, A. C.; CHEN, Q.; PALAGANAS, N. B.; PALAGANAS, J. O.; MANAPAT, J.; ADVINCULA, R. C. High performance polymer nanocomposites for additive manufacturing applications. **Reactive and Functional Polymers**, v. 103, p. 141–155, 2016.
- MAJUMDAR, R. *et al.* Development and evaluation of prefabricated antipronation foot orthosis. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, v. 50, n. 10, p. 1331–1342, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24699969>. Acesso em: 5 set. 2024.
- PARK, S.; FU, K. Polymer-based filament feedstock for additive manufacturing. **Composites Science and Technology**, v. 213, p. 108876, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108876>.
- PINHEIRO, M. S. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 330p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de Campinas, São Paulo, 2011.
- SEGER, F.; TAVARES, J. M. R. **Análise da influência de palmilhas personalizadas na distribuição das pressões plantares e no controlo postural**. [S. l.], Universidade do Porto, 2017.
- WITTLE, M. W. **Gait Analysis an introduction**, 4a ed., v. 53, n. 9. London: Heidi Harrison, 2007.

TRANS VERSO

09 Qualitative and comparative assessment of natural ventilation flow patterns through the use of physical models in a Water Table and CFD simulations

recebido em 15/09/2024
aprovado em 15/10/2024

Qualitative and comparative assessment of natural ventilation flow patterns through the use of physical models in a Water Table and CFD simulations

Roseana Martins Ribeiro

roseanamr@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Michele Fossati

michefossati@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Fernando da Silva Almeida

fernandosilvaalmeida@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Martin Ordenes

martin.ordenes@ufsc

Universidade Federal de Santa Catarina

Luciano Suski

luciano.suski@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

ABSTRACT (ENG): *Natural ventilation is essential for air renewal, building cooling, and promoting thermal comfort for users. However, its analysis requires complex software. Water tables present an accessible and easy-to-handle alternative to overcome this limitation. The objective is to qualitatively assess whether the results generated by the water table accurately represent natural ventilation flow patterns in more complex physical models. Experimental tests are conducted on a water table and compared with Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations to achieve this. The methodology consists of four stages: 1) determining the model; 2) characterizing the water table; 3) describing the configurations used in the computational simulations; and 4) analyzing the results. The results were satisfactory, showing similarities in air flow behavior in both the internal and external areas of the building, although discrepancies emerged in zones with low air circulation.*

Keywords: *natural ventilation, water table, CFD.*

RESUMO (PT): A ventilação natural é essencial para renovação do ar ambiente, resfriamento da edificação e promoção do conforto térmico dos usuários, porém sua análise requer softwares complexos. O uso de mesas d'água surge como uma alternativa acessível e de fácil manuseio para superar essa limitação. Objetiva-se avaliar qualitativamente se os resultados gerados pela mesa d'água representam com precisão os padrões de fluxo de ventilação natural em modelos físicos mais complexos. Para tanto, são realizados testes experimentais em uma mesa d'água, e comparados com simulações de Dinâmica dos Fluidos Computacional. A metodologia é composta por quatro etapas: 1) determinação do modelo; 2) caracterização da mesa d'água; 3) descrição das configurações utilizadas nas simulações computacionais; e 4) análise dos resultados. Os resultados foram satisfatórios, com semelhanças no comportamento do fluxo de ar nas áreas internas e externas da edificação, embora tenham surgido divergências nas zonas de baixa circulação de ar.

Palavras-chave: ventilação natural, mesa d'água, CFD.

1. Introduction

Integrating sustainability in architecture is a growing concern, especially considering the building's significant impact on global energy consumption and greenhouse gas emissions (United Nations Environment Programme, 2021). In this context, the search for passive strategies, such as natural ventilation, stands out as a sustainable approach to reducing energy consumption in buildings.

When considering sustainability in architecture, it is essential to prioritize techniques that promote human thermal comfort and energy efficiency, such as natural ventilation. In addition to helping reduce internal thermal loads, natural ventilation can also be an environmentally friendly solution, reducing the reliance on high-energy-consuming HVAC systems. For efficient implementation of this technique, the importance of studying the internal and external flow patterns in buildings and understanding this phenomenon in the early stages of design is emphasized (Frota; Shiffer, 1999; Lamberts; Dutra; Pereira, 2014; Subhashini; Thirumaran, 2019).

Beyond the aspects related to thermal comfort and thermal load, it is also crucial to consider issues related to air quality. In winter, it is common to reduce air exchange with the external environment to avoid cold air from entering. Similarly, sealing off a space in summer may be prioritized to reduce thermal exchange with the warmer exterior. In both cases, it is important to emphasize the need for air renewal, carried out through ventilation, to ensure hygiene (Rivero, 1986).

A greater number of hygiene-related issues are observed in Social Housing (HIS). In general, in these projects, aspects related to construction costs, both in terms of materials and construction systems, are prioritized (Triana; Lamberts; Sassi, 2015). As a result, problems are commonly observed in these environments, and concerning ventilation, mold, and fungi can develop due to moisture resulting from inadequate ventilation (Bach; Veiga, 2020).

In addition to the issues above, there is also a lack of attention to the north-south orientation of the housing units. Projects from the *Minha Casa Minha Vida* program, another social housing implementation policy, often do not receive proper attention regarding the orientation of the units. Therefore, conducting studies evaluating how ventilation occurs within the dwellings is essential. In this regard, computational fluid dynamics (CFD) simulations conducted in a case study in Campinas showed that diagonal orientation presented better results (Morais; Labaki, 2017).

CFD assessments and on-site measurements have shown that changes in openings contribute to user comfort and highlight how the lack of air circulation can cause thermal discomfort, depending on the climatic situation (Elshafei et al., 2017). Evidence shows the configuration of openings influences users' thermal comfort (Tiburcio; Bittencourt, 2017). Thus, the configuration of openings is crucial for user comfort and the overall ventilation of the space (Gao; Lee, 2011).

Consequently, CFD analysis presents significant potential for the qualitative and quantitative evaluation of flow patterns in environments that must be analyzed (Chen, 2003). Despite its accuracy in evaluating physical parameters related to natural ventilation in architectural design, this tool requires complex software, high costs, licensing, difficulties in defining boundary conditions, and challenges related to fluid obstacles, limiting its

incorporation in the early design stages (Shirzadi; Mirzaei; Naghashzadegan, 2018; Sacht; Lukiantchuki, 2017).

Besides CFD analysis, the wind tunnel is a reliable tool for qualitative and quantitative verifications (Sacht; Lukiantchuki, 2017). However, its use requires ample physical space, specific equipment installation, and specialized personnel operation, limiting its accessibility (Bittencourt; Cândido, 2010).

To address these challenges, using water tables to visualize the phenomenon has been suggested as an efficient alternative (Xavier et al., 2020; Mundhe; Damle, 2020; Rossi et al., 2019). The water table is a qualitative analysis tool for natural ventilation, visually reproducing physical properties similar to the real phenomenon (Toledo; Pereira, 2003). Thus, it is a tool that can reliably provide information to guide decisions in the early stages of project development (Royan; Vaidya, 2020).

Water table experiments allow the visualization of fluid movement in reduced-scale models, enabling the analysis of their behavior. This tool can verify and quantify flow patterns generated inside and around buildings (Mundhe; Damle, 2020). In this context, the analysis can be expanded to include entire floors, covering all internal spaces of apartment buildings, using physical models applied in a water table (Toledo; Pereira, 2005).

Furthermore, when analyzing the internal environments of commercial buildings specifically designed for office use, the water table verifies the impacts of facade devices on flow patterns within the interior spaces (Lima et al., 2021). Regarding air movement in indoor spaces, it is important to highlight the role of ventilation in mitigating the spread of airborne pathogens, emphasizing how the water table can be a valuable tool for these analyses (Mattia; Chvatal, 2021).

However, this approach still has limitations, such as the two-dimensional visualization, the lack of quantitative measurements, and the influences caused by specific environmental factors (Custódio et al., 2021). Therefore, further studies are needed to explore alternative approaches with specific analysis parameters and compare them with more complex and reliable methods, such as CFD, to address the limitations of the water table's efficiency (Custódio et al., 2023).

Thus, this article aims to qualitatively assess whether the results generated by the water table accurately represent the flow patterns of natural ventilation in more complex physical models. Experimental tests are conducted in a water table to achieve this, and the results are compared to CFD simulations.

2. Method

This study follows a structured methodology comprising the following stages: 1) model determination; 2) characterization of the water table and its input parameters for experiment development; 3) description of the configurations used in the computational simulations employing CFD; and 4) analysis of the results.

2.1. Determination of the model

The defined analysis model is a representative Social Interest Housing (HIS) of the Brazilian Federal Government's *Minha Casa Minha Vida* program (Triana; Lamberts; Sassi, 2015). The floor plan (Figure 1a) is divided into two bedrooms, a bathroom, and a living space that integrates the kitchen, living room and circulation to the bathroom. The same HIS model served as the basis in the research of Ribeiro (2022), which derived the floor plan in figure 1b, used for the water table experiments.

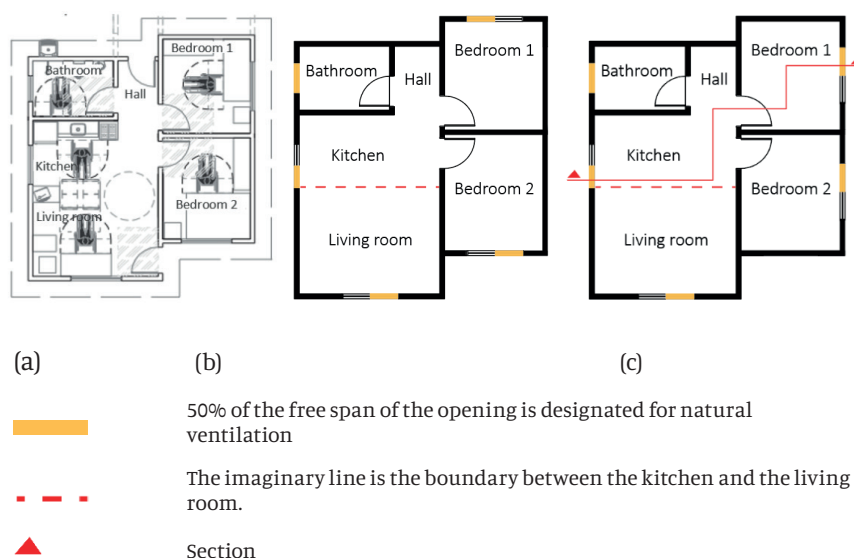


Figure 1 – (a) Model of the floor plan of a representative HIS. Source: adapted from Triana, Lamberts, and Sassi (2015). (b) The floor plan model has room openings on the opposite walls. (c) The floor plan model has room openings on the adjacent walls. Source: adapted from Ribeiro (2022).

For the tests, fixed opening configuration parameters were defined as follows: the location of the external openings of the bedrooms is on the wall opposite the door (Figure 1b) and adjacent to the door (Figure 1c); the positioning of the external openings of the bedrooms is centralized on the wall for both models (Figures 1b and 1c); external doors were considered closed; internal doors are closed but with the upper flag open (opening above the door that allows the passage of air); the other openings maintained the same configuration as the representative HIS model. The wind incidence angle was adopted as the analysis factor regarding the variable parameter.

For this purpose, 45° , 90° , and 135° angles were adopted (Figure 2), corresponding to Brazil's predominant wind orientations. 45° represents the Northeast, 90° the East, and 135° the Southeast, with the North considered zero degrees (Ribeiro, 2022).

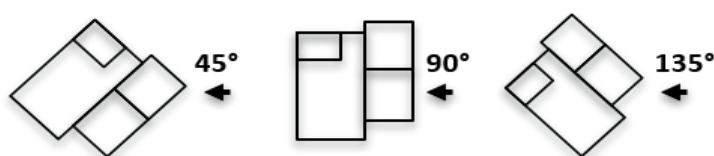


Figure 2 - Indication of wind incidence angles. Source: adapted from Ribeiro (2022).

A permanent ventilation system was considered to visualize the fluid flow inside the environments in both the model on the water table and the CFD

model. Additionally, two planes of natural ventilation visualization were used in the model: horizontal (6 tests in floor plan) and vertical (1 test in section), so that the analyses were complementary, considering the two-dimensional verification. The models for analysis were made of laser-cut 2-millimeter-thick acrylic sheets at a 1:25 scale. Further information about the model production can be found in the work of Ribeiro (2022).

2.2. Characterization of the water table and the tests performed

The water table used in this study has a test area of 1.20 m x 0.71 m, as shown in figure 3. The equipment consists of two vertically shaped reservoirs at the ends (upstream and downstream), connected at the top by a level horizontal plane, forming a wide channel for the flow of a fluid sheet with a constant height of 1 cm. At the bottom, a set of hydraulic connections installed in an electrical pumping system and controlled by a frequency inverter maintains a controlled and cyclical water flow between the tanks, ensuring the fluid flow is constant (Figure 4).

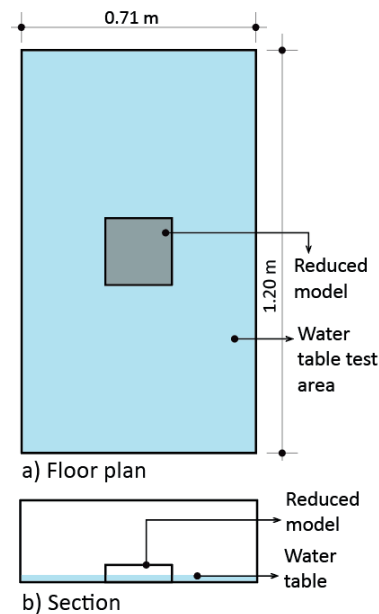


Figure 3 - Dimension of the water table test area. Source: the authors.



Figure 4 - Water table. Source: the authors.

The tracer method and the direct injection technique of the indicator (detergent) were adopted, which generates contrast with the test plane and the model since they are suitable for low speed and allow quick visualization of the flow patterns, as indicated by Rossi et al. (2019), Toledo and Pereira (2003) and Toledo and Pereira (2005). For this purpose, the liquid contained a solution of water and detergent in the proportion of 150 milliliters of detergent dissolved in 100 liters of water.

After filling the water table and adding the detergent, the equipment activation instructions were followed, establishing a frequency value of 40 Hz for approximately 5 minutes until foam formation. After forming the foam, the frequency value was reduced to 25 Hz, considering the laminar flow and steady-state direction characteristic of low-speed water flow (Ribeiro, 2022).

For the experiments on the water table, the reduced physical model was analyzed in isolation, meaning that the influences of the built and natural environment were disregarded, and all tests had the same test conditions.

The model was placed in the central part of the test plan to reduce edge effects in the experiments. Photographic records and videos were taken for each experiment using a smartphone mounted on a support positioned 60 cm above the water table's test plan. Ribeiro's (2023) work provides more information about the experimental procedures.

2.3. Description of the configurations used in the computer simulations

This study conducted simulations using the ANSYS CFX software (2023) student version, while modeling was done in AutoCAD software (2023), and later exported to CFD in .igs format. The domain modeling was based on the dimensions of the water table test area (width = 0.71 m; height = 0.30 m; and length = 1.20 m). The evaluation models were constructed following the dimensions of the physical models and positioned in the center of the domain to avoid edge effects (Custódio et al., 2021).

With that said, the input data entered into the Workbench suite of the CFX software for conducting simulations include the following steps:

(1) **Geometry:** import the model generated in AutoCAD;

(2) **Mesh** (computational mesh generation):

(2.1) tetrahedral structure;

(2.2) refinement of surfaces in the domain and building of 3×10^{-2} m and 1.5×10^{-2} m, respectively (Figure 5). The combination of these parameters determines the number of elements and, consequently, the simulation processing time.

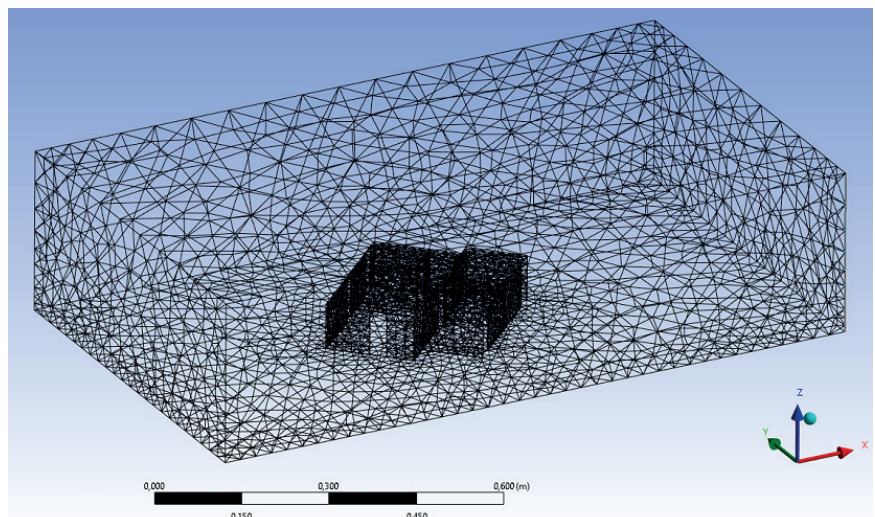


Figure 5 - Computational mesh generation. Source: the authors.

(3) Setup (definition of boundary conditions):

(3.1) Domain conditions - Input: INLET, output: OUTLET, sides, and roof: WALL free slip (no friction), floor and building surfaces: WALL no slip (with friction) (Widiastuti et al., 2020). These conditions were set to resemble those established in the water table test;

(3.2) regimen — permanent;

(3.4) heat transfer model - Isothermal (25 °C) (Custódio et al., 2023);

(3.5) air velocity - 0.20 m/s: representative of the frequency used in the water table tests (Xavier et al., 2020);

(3.6) turbulence model - K-epsilon (commonly used in various studies on natural ventilation), the input parameters for turbulence were: average intensity of 5% (default software value).

(4) Solution (processing of solutions):

(4.1) Convergence level - maximum 10^{-4} (Shirzadi; Mirzaei; Naghashzadegan, 2018);

(4.2) number of iterations - Minimum 100 and maximum 1000.

(5) Results (visualization of results):

(5.1) Visualization: 2D dimension in a plane 1 cm above the floor;

(5.2) symbol: vectors, with a dimension of 0.8 m.

2.4. Analysis of the results

The assessment of congruence between the water table experiments and CFD simulations was conducted through a qualitative analysis of the air distribution in the selected models. The qualitative comparative analyses of air distribution were performed by overlaying the results obtained from the experimental tests on the water table and the results found in the CFD simulations (Custódio et al., 2021; Almeida et al., 2020).

For this purpose, the results were optimized through schematic drawings, which assessed the representation of flow patterns in the water table in line with the CFD. The drawings were generated using Adobe® Illustrator software and later exported in PNG format.

3. Results and discussion

Figures 6 and 7 show the tests conducted on the ground floor of the model derived from the representative HIS. They present the results of the water table experiments, CFD simulations, and graphical overlay schemes of the airflow, considering the three analyzed wind incidences (45°, 90°, and 135°).

In general, the fluid distribution observed in the water table experiments showed significant similarity to the results obtained in the computer simulations, both internally and externally. The most evident similarities in the internal fluid behavior at the three analyzed incidence angles are noted

where the fluid flow manifests most expressively, in the main wind flow, referring to areas where the fluid in motion finds the shortest path between the inlet and outlet openings.

This aspect can be observed more clearly in figure 6c, which presents a graphical overlay of the fluid flow in the tools used. It refers to the tests in which the room openings are on opposite walls. The mentioned paths are marked in a solid line and have the following opening directions: W1 to D1, W2 to D2, D2 to W4 and W3, D1 to D3, and subsequently W5.

Regarding the external congruences of the air movement, the windward face coincides since it is the side of wind incidence (Figure 6c). The leeward face also showed similarities in the expressive fluid flow and the air recirculation near the W4 outlet in the study of the 135° angle. This air recirculation is due to the fluid volume encountered by the flow patterns from W5 and W4 and the fluid's acceleration caused by the building's lower edge.

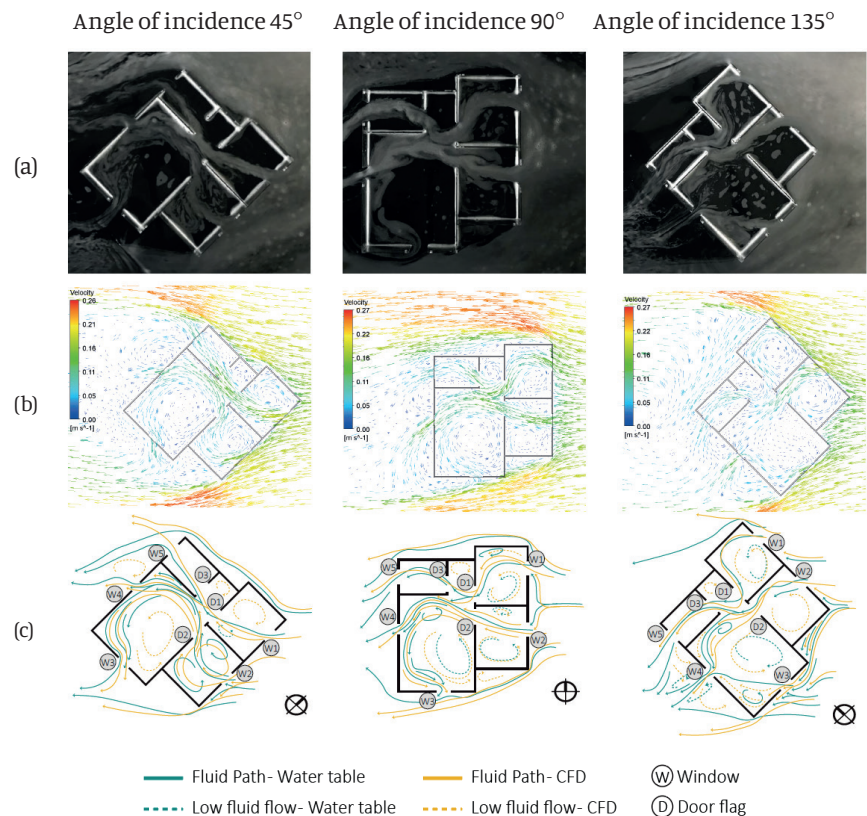


Figure 6 – (a) fluid flow for CFD simulations, (b) experiments in the water table, and (c) graphical schemes of the CFD and water table overlay - Floor Plan model with room openings on the opposite walls. Source: the authors.

Despite the results between the water table tests and CFD simulations being corresponding in most cases, some divergences were noted, particularly in areas with low air circulation or stagnant air, which can be identified by areas with a lack of foam (water table tests) and by vectors expressing lower air velocities (computer simulations). Regarding the observed external divergences, it was noted that at angles of 45° and 135°, the upper zones near the corners showed different air paths, as they experienced deviations due to the built obstacle.

Concerning the analyses of the inconsistency of the internal air distribution, for the wind incidence angle of 45° (Figure 6c), it is noticeable that in the living room and bedroom 1, there is a wind shadow in the water table tests, while in the simulations, there were undulatory movements that generated air recirculation, even at low speed (approximately 0.03 m/s). The same aspect can be observed in the 135° angle study, in bedroom 2, and the area between D1 and D3 for all three analyzed incidence angles.

Regarding fluid distribution in the model with room openings on adjacent walls (Figure 7), a notable similarity was observed between the experiments conducted in the water table and the computational simulations, especially in the external zones for the three angles analyzed in the case study, both on the windward and leeward sides. Some similarities and variations in fluid behavior were identified in the analysis of the internal zones.

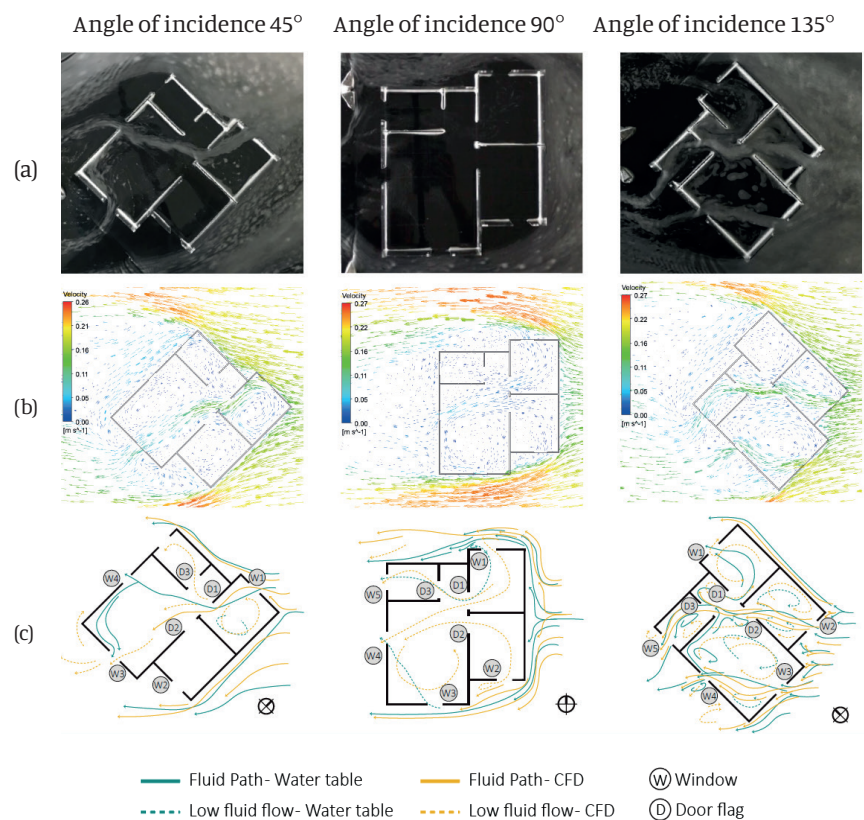


Figure 7 – (a) fluid flow for CFD simulations, (b) experiments in the water table and (c) graphical schemes of the CFD and water table overlay - Floor Plan model with room openings on the adjacent walls. Source: the authors.

For the 45° angle (Figure 7c), stagnant air areas were observed in room 2 and the bathroom and limited recirculation in room 1, with the air inlet opening W1 coinciding in both methods. However, the fluid entering through W1 followed different paths when exiting through D1. In the water table tests, two air outlets, W4 and W3, were identified with no significant loss of speed. In contrast, in the computational simulations, the fluid experienced a reduction in speed until it reached the W3 outlet.

In the tests conducted for the 90° angle, greater similarities were observed, both in the external zones, where the airflow is more intense and deflects

around the edges of the building, and in the internal areas, which showed low airflow circulation in all rooms. For the 135° angle, significant similarities were noted, both in the more prominent airflow and in areas of low circulation. The only discrepancy was found in room 1, where the water table tests showed a significant flow, while the computational simulations revealed low air recirculation.

Figure 8 shows the section of the studied HIS (see the cutting line in figure 2b). The opening configuration is characterized as follows: external openings are open (W1 and W4), the bedroom door is closed, and the upper flap of the bedroom door is open (D1).

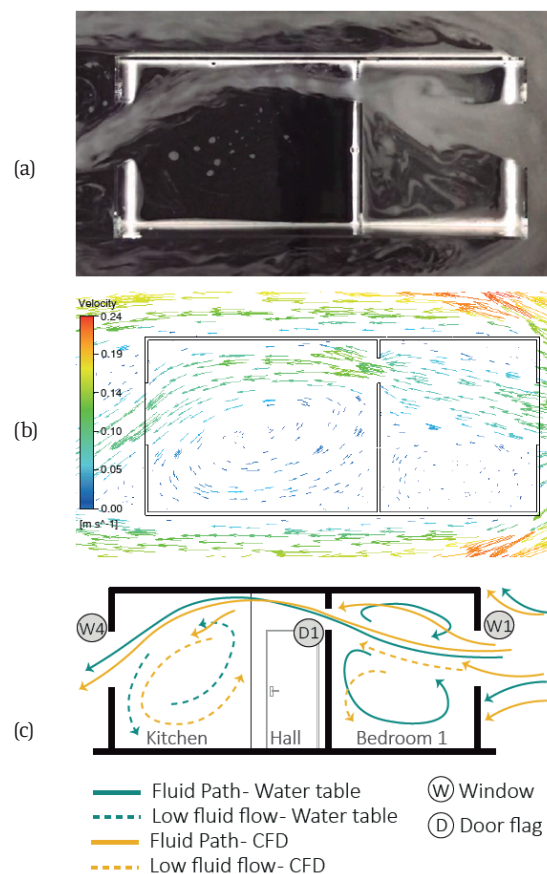


Figure 8 – (a) fluid flow for CFD simulations, (b) experiments in the water table, and (c) graphical schemes of the CFD and water table overlay – Section. Source: the authors.

In this case, it is noticed that the fluid flow in the internal spaces shows great similarity in the overlay of CFD simulations with the experiments conducted on the water table, which confirms the reliability of the physical equipment used. The more closely the results match those in CFD, the more representative the tested model. It is observed that the most expressive air path occurs from the height of the windowsill of W1 (located on the windward side) towards the upper part of the environment and the opposite of W1, i.e., towards the D1 opening. Then, the fluid flows into the other room, where it encounters the W4 air outlet.

The internal fluid flow in the two tools used conforms in the areas of more expressive air passage and the zones of air recirculation, mostly located in the lower part of the space (Figure 8).

Complementary to these analyses, through the section, it is possible to verify the relationship between the dimensions of the air inlet and outlet openings, which influence the quality and quantity of fluid flow in the environment. According to Olgyay (2016), when the air inlet opening is larger than the outlet, lower speeds and more uniform air distribution in the space are observed, which can be seen in the first section of the analysis (from the windward side — right side), where bedroom 1 has W1 with a larger dimension than D1. It is noticeable that the fluid distribution is more homogeneous in the environment.

On the other hand, when the air inlet opening is smaller than the outlet, higher speeds and more irregular air distribution are observed, as seen in the second section of the study, where D1 is smaller than W4, and it is noticeable that the lower zone of the space lacks air.

It is important to note that the speed cannot be perceived through the images of the water table tests; however, it is evident that the air distribution in the observed environments is similar to that described by Olgyay (2016).

Another aspect to highlight is that the test with the bedroom door closed but with the upper flap of the door open, in addition to allowing cross ventilation and air renewal in the environment, also contributes to the privacy of the space, which becomes an encouraging factor in adopting this element in dwellings.

4. Conclusion

The qualitative evaluation of natural ventilation by comparing the water table and computational CFD simulation tools proved satisfactory. The fluid flow characteristics in the internal and external areas of the study object, which is a more complex model characterized by a compartmentalized layout, were significantly similar.

The main similarity in fluid behavior revealed by both tools is related to the path of the main wind flow in the spaces, observed in the three incidence angles analyzed in the horizontal plane (floor plan) for openings on both opposite and adjacent walls, as well as in the test conducted in the vertical plane (section). However, the notable divergence pertains to certain areas of air recirculation that did not converge despite showing low velocity in the simulation, especially in the tests with a 45° angle in the floor plan with openings on opposite walls.

The experiments conducted in the water table were validated through computational CFD simulations, which highlighted the compatibility of the tools in their experimental results, considering, in this case, the adopted parameters: the housing model used, the configuration of openings, and the angles of incidence of the winds. Therefore, reliability in using the water table as equipment for qualitative evaluation of natural ventilation can be attributed to similar results found in the literature (Xavier et al., 2020; Royan; Vaidya, 2020; Custódio et al., 2023).

In addition, the tool is easy to handle compared to computational simulations that require more in-depth knowledge. However, the water table has limitations in evaluating the phenomenon, as its visualization is two-dimensional; in this context, the tool should be used responsibly.

The comparative qualitative analysis presented in this article can significantly enrich the theoretical foundation and the applied practices in architecture and urban planning. It can advance the understanding of natural ventilation in buildings and contribute to the evolution of standards and practices in the field. The study offers substantial contributions in the academic realm by fostering discussions on natural ventilation behavior based on experimental and computational simulation methods.

For architecture and urban planning professionals, validating methods such as the water table and CFD simulations provide practical and reliable tools for evaluating and proposing strategies to optimize natural ventilation in indoor environments. Furthermore, the research results have the potential to influence the formulation and updating of building codes and regulations by demonstrating the effectiveness of different approaches in analyzing natural ventilation in buildings.

Referências

Almeida, F. S.; Ribeiro, R. M.; Scalco, V. A.; Fossati, M.; Ordenes, M. Análise do uso de aplicativo virtual para estudo da ventilação natural em ambientes internos. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*. Porto Alegre: ANTAC, 2020.18: p. 1-10.

BACH, Arthur Henrique; VEIGA, Rita de Cássia Gnutzmann. **Produção da Habitação de Interesse Social em Rio Grande/RS**: diagnóstico de edificações assistidas pelo SAsCC. 12º SIEPE — Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. 2020.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL Edifica, 2010.

CHEN, Qingyan (Yan). Using computational tools to factor wind into architectural environment design. **Energy And Buildings**, [s. l.], v. 36, n. 12, p. 1197-1209, dez. 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.10.013>.

CUSTÓDIO, Maria Isabel P.; ALMEIDA, Fernando da S.; RIBEIRO, Roseana M.; RODRIGUES, Ricardo César; BATISTA, Juliana O. Estudo qualitativo da ventilação natural em ambientes internos: uma análise comparativa do aplicativo de smartphone Windtunnel CFD e CFD (ANSYS). *v ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 16., 2021. **Anais [...]**. [S. l.], 2021. p. 958—967. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4494>. Acesso em: 12 set. 2024.

CUSTÓDIO, Maria Isabel Pedrosa; IMAI, Cesar; SILVA, Fernando Vitor Marques da; SHIMOMURA, Alessandra Rodrigues Prata; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Avaliação da taxa de obstrução do modelo físico reduzido na área de ensaio na mesa d'água. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 105-120, dez. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212023000400693>.

ELSHAFEI, Ghada; NEGM, Abdelazim; BADY, Mahmoud; SUZUKI, Masaaki; IBRAHIM, Mona G.. Numerical and experimental investigations of the impacts of window parameters on indoor natural ventilation in a residential building. **Energy And Buildings**, [s. l.], v. 141, p. 321-332, abr. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.055>.

FROTA, Anésia Barros e SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1999.

GAO, Caifeng; LEE, Wai Ling. Evaluating the influence of openings configuration on natural ventilation performance of residential units in Hong Kong. **Building And Environment**, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 961-969, abr. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.029>.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Ed. PW., 2014.

LIMA, Lucas Lauton de; SHIMOMURA, Alessandra R. Prata. O uso da mesa d'água: ventilação natural e o desafio de requalificar ambientes de escritórios. *In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, 16., 2021. **Anais [...]**. [S. l.], 2021. p. 1076—1085. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4506>. Acesso em: 12 set. 2024.

MATTIA, Pedro Henrique Silva; CHVATAL, Karin Maria Soares. Mesa d'água como ferramenta para a simulação do deslocamento de aerossóis em ambientes internos. *In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, 16., 2021. **Anais [...]**. [s. l.], 2021. p. 1957–1966. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4594>. Acesso em: 12 set. 2024.

MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa; LABAKI, Lucila Chebel. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do “Programa Minha Casa, Minha Vida”. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 223-244, mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133>.

MUNDHE, Pooja; DAMLE, Rashmin M.. A methodology for quantifying flow patterns in a water-table apparatus for naturally ventilated buildings. **Architectural Science Review**, [s. l.], v. 64, n. 1-2, p. 98-108, fev. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2020.1733482>.

Olgay, V. **Arquitectura y Clima**. 1 ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2016.

RIBEIRO, Roseana Martins. **Análise do desempenho da ventilação natural de acordo com as diretrizes referentes às aberturas na ABNT NBR 15.575 e em Códigos de Obras e Edificações no Brasil**. 2022. 161 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento natural**. 2. ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986.

ROSSI, M. M.; VALE, F. I.; SHIMOMURA, A. R. P.; CHVATAL, K. M. S.A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 3, n. 10, p. 70-80, abr. 2019.

ROYAN, Monisha; VAIDYA, Prasad. Construction, validation and testing of a water table for natural ventilation analysis. **Energy And Buildings**, [s. l.], v. 226, p. 110-356, nov. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110356>.

SACHT, Helenice; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Windows Size and the Performance of Natural Ventilation. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 196, p. 972-979, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.038>.

SHIRZADI, Mohammadreza; MIRZAEI, Parham A.; NAGHASHZADEGAN, Mohammad. Development of an adaptive discharge coefficient to improve the accuracy of cross-ventilation flow patterns calculation in building energy simulation tools. **Building And Environment**, [s. l.], v. 127, p. 277-290, jan. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.019>.

SUBHASHINI, S; THIRUMARAN, K. CFD simulations for examining natural ventilation in the learning spaces of an educational building with courtyards in Madurai. **Building Services Engineering Research And Technology**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 466-479, out. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/0143624419878798>.

TIBÚRCIO, Isabela Cristina da Silva Passos; BITTENCOURT, Leonardo. A influência da porosidade das portas internas no desempenho da ventilação natural em edificações residenciais multifamiliares. *In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, 2019, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: ANTAC, 2019. p. 1425-1434.

TOLEDO, Alexandre Márcio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. O potencial da Mesa d'água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. *In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, 7., 2003, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: ANTAC, 2003. p. 1383-1390.

TOLEDO, Alexandre Márcio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Natural ventilation due to wind action: practice knowledge against experimental flow patterns visualisation. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT*. Santorini, Greece, 2005. p. 1009-1014.

TRIANA, Maria Andrea; LAMBERTS, Roberto; SASSI, Paola. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, [s. l.], v. 87, p. 524-541, dez. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041>.

United Nations Environment Programme. **Global Status Report for Buildings and Construction**: Towards a Zeroemission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2021. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf. Acesso em: 1 jul. 2023.

WIDIASTUTI, R; HASAN, M I; BRAMIANA, C N; PRAMESTI, P u. CFD Simulation on the Natural Ventilation and Building Thermal Performance. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 448, n. 1, mar. 2020. IOP Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012004>.

XAVIER, Ana Clara de Almeida; GULARTE, Izabella Hafele; MIZGIER, Martin Ordenes; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Visualização da ventilação natural em ensaios na mesa d'água comparado a simulações computacionais. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, [s. l.], v. 11, p. 1-16, set. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v11i0.8656954>.

YI, Yun Kyu; ANIS, Manal; JANG, Keun; KIM, You-Jeong. Application of machine learning (ML) and genetic algorithm (GA) to optimize window wing wall design for natural ventilation. **Journal Of Building Engineering**, [s. l.], v. 68, p. 106-218, jun. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobee.2023.106218>.