REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA - PROJETOS
ISSN: 2178-1974
2025, Vol. 15, No. 30
DOI 10.23972/det2025iss25pp90-99

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Modelo de cadeira de rodas parametrizada a partir da transposição de requisitos estéticos e simbólicos

Cristian V. M. Fagundes[1]; Henrique J. Pinheiro[2]; Alexandre S. Rossi[1]; Léia M. Bruscato[1]; Fabio P. Silva[1]

[1] *PGDesign, Universidade Dederal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.*

[2] *MgGill University, Canada.*

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se a aplicação de uma metodologia de desenvolvimento de produto com foco na definição de atributos estéticos e simbólicos aplicada a criação de um modelo de cadeira de rodas. Primeiramente, foi feita uma pesquisa bibliográfica visando a definição de requisitos importantes para usuários de cadeiras de rodas como o manuseio deste tipo de equipamento, a prevalência de barreiras arquitetônicas que afetam a mobilidade e independência, e aspectos emocionais e de estigma atrelados a esta condição. Na sequência, fez-se a transposição desta informação em atributos estéticos e simbólicos, a exploração de conceitos similares, a seleção dos atributos mais relevantes e, por fim, a sua tradução para imagens representativas, resultando em um quadro visual dos atributos subjetivos elencados com base na bibliografia encontrada. Posteriormente, ilustrações de formas e objetos foram fragmentadas em subcomponentes de uma cadeira de rodas (encosto, assento, rodas, braços e pés) e exibidas em formato de painel de referências, buscando a exploração de conceitos tangíveis para auxiliar o processo de desenvolvimento do produto. Este quadro serviu como inspiração para o esboço à mão livre de possíveis modelos de cadeiras de rodas que incorporasse os conceitos inicialmente propostos, concluindo o ciclo de tradução de atributos subjetivos para requisitos tradicionais de projeto. Na sequência, os desenhos foram digitalizados, parametrizados e modelados em 3D com o uso de ferramentas de design paramétrico e algoritmo evolutivo. Estes modelos foram analisados pelo grupo de pesquisa por meio de um questionário a fim de mensurar a prevalência dos requisitos estéticos e simbólicos em cada um dos modelos gerados, bem como a sua intensidade. Por fim, essa avaliação foi armazenada e incorporada em um algoritmo evolutivo, permitindo a integração entre metodologias de design centrado no usuário e ferramentas computacionais e possibilitando que novos modelos sejam gerados e otimizados considerando requisitos subjetivos no desenvolvimento de tecnologias assistivas mais adequadas às necessidades dos usuários.

PALAVRAS-CHAVE

Design de produto;
Desenho paramétrico;
Algoritmos evolutivos

Wheelchair model parameterized from the transposition of aesthetic and symbolic requirements

ABSTRACT

In this study, we present the application of a product development methodology that focuses on defining aesthetic and symbolic attributes, specifically applied to the design of a wheelchair model. Firstly, bibliographic research was conducted to establish vital requirements for individuals who rely on wheelchairs, including the handling of such equipment, the prevalence of architectural barriers that hinder mobility, as well as the emotional aspects and stigma associated with this condition. The information was transposed into visual and symbolic attributes, where related concepts were explored, selected, and translated into representative images. Afterward, illustrations of design elements and objects were fragmented into subcomponents of a wheelchair (including the backrest, seat, wheels, armrests, and footrests) and displayed as a panel of references, serving as inspiration for sketching freehand representations of potential wheelchair models that integrated the initially proposed concepts. These sketches were digitized, parameterized, transformed into 3D models using parametric design tools, and analyzed by the research group using a questionnaire to assess the prevalence and significance of aesthetic and symbolic criteria in each of the generated models. Finally, this evaluation was stored and incorporated into an evolutionary algorithm, enabling the integration between user-centered design methodologies and computational tools. This allows new models to be generated and optimized while considering subjective requirements in the development of assistive technologies that better meet users' needs.

KEYWORDS

Product design;
Parametric design;
Evolutionary Algorithms

CONTATO: Cristian V. M. Fagundes – *cristian.fagundes@ufrgs.br*

© 2025 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de cadeiras de rodas tem evoluído significativamente nas últimas décadas, porém ainda existem desafios importantes relacionados à integração de aspectos estéticos e funcionais que atendam às reais necessidades dos usuários. A relevância deste estudo se fundamenta na necessidade de sistematização do processo de design a fim de integrar aspectos estéticos e simbólicos às considerações técnicas tradicionais.

Este projeto, aplicado especificamente ao design de cadeiras de rodas, expande a literatura atual por meio da utilização de ferramentas computacionais modernas para otimização e validação sistemática de soluções propostas junto a usuários. Esta abordagem é especialmente importante considerando que as cadeiras de rodas não são apenas dispositivos funcionais, mas também elementos que impactam diretamente a identidade e inclusão social de seus usuários.

Este trabalho propõe expandir a metodologia de sistematização de requisitos estéticos e simbólicos de Sapper (2015), adaptando-a ao contexto atual de design e fabricação auxiliada por computador. Para isso, ferramentas de desenho paramétrico (Rhinoceros/Grasshopper) e algoritmos genéticos serão incorporados, criando um processo replicável de otimização de design. A metodologia desenvolvida permite identificar e parametrizar requisitos subjetivos da percepção de usuários, gerar alternativas de forma paramétrica e realizar seleção otimizada através de algoritmos genéticos, contribuindo assim para o avanço das técnicas de design centrado no usuário em tecnologias assistivas.

2. PESSOAS COM DEFICIÊNCIA MOTORA E A PREVALÊNCIA DE BARREIRAS ARQUITETÔNICAS

Em busca de entender a interação entre usuários de cadeiras de rodas e o ambiente público na qual elas precisam ser inseridas, procurou-se material na literatura já existente. Em Wellman et al. (1996) os autores discorrem sobre a mudança de perspectiva de análise do problema decorrente do uso de cadeiras de rodas em ambientes públicos. O texto propõe a mudança de paradigma de adequar a arquitetura ao usuário de cadeira de rodas em prol de adequá-lo ao ambiente existente, o que serviu de motivador na criação dos conceitos explorados. Siqueira (2008) apresenta uma análise sobre a prevalência de barreiras arquitetônicas em vias, espaços de uso público e edificações, focando no acesso a unidades básicas de saúde nas regiões sul e nordeste do Brasil.

Este estudo mostra um cenário próximo a realidade dos autores e reafirma a existência de barreiras para usuários de cadeira de rodas. Já Ahn et al. (1994) apresenta uma análise mais prática e aplicável a detecção de problemas específicos encontrados, mostrando um questionário sobre a presença de barreiras arquitetônicas e os resultados de sua aplicação em uma pequena comunidade. Por fim, Wolniak, (2014) traz uma categorização de diferentes tipos de deficiências existentes e os principais requisitos a serem implementados em prédios públicos para que sejam considerados aptos para pessoas com algum tipo de deficiência. Com este último estudo, finalizou-se a etapa de conceituação do problema existente.

3. ASPECTOS EMOCIONAIS E PERCEPÇÕES QUE ENVOLVEM O UNIVERSO DOS USUÁRIOS DE CADEIRAS DE RODAS

Para entender melhor a relação dos usuários com as cadeiras de rodas e o universo que os cerca, selecionou-se dois estudos recentes que abordam essa temática. Lanutti (2019) buscou compreender que variáveis influenciam o estigma e as emoções relacionados ao uso da tecnologia assistiva, mais especificamente a cadeira de rodas. Em uma amostra de 20 indivíduos adultos usuários de cadeira de rodas (com idade entre 18 e 64 anos) igualmente distribuídos por gênero, foi aplicada uma série de entrevistas na qual se compilou diferentes expressões dos entrevistados sobre o que a cadeira de rodas representa em suas vidas e na sua relação com outros indivíduos.

Como recurso não verbal de captação de dados, esse mesmo estudo, através de uma ferramenta de leitura de expressão facial (FaceReader), captou as percepções dos usuários de cadeira de rodas durante o uso de diferentes modelos de cadeira de rodas, computando informações importantes sobre características funcionais deste produto. Conclui-se com este estudo que o valor simbólico da cadeira de rodas está relacionado não só ao projeto do objeto, mas também a sua relação com o ambiente a sua volta, sendo ela um atributo da identidade social do indivíduo.

O segundo estudo de apoio para a captação dos requisitos estéticos e simbólicos do produto em questão foi Chesani, (2020), cujo objetivo foi compreender quais variáveis influenciam o estigma e as emoções relacionados ao uso da cadeira de rodas. O estudo abordou 10 pessoas com deficiência (com idade entre 19 e 63 anos) que utilizavam tecnologia assistiva e que frequentavam uma clínica de fisioterapia e um centro especializado de reabilitação.

Da análise dos resultados de entrevistas semiestruturadas aplicadas, emergiu um bloco temático de representações sociais do uso da cadeira de rodas: Equipamento Indispensável, Símbolo de deficiência, Meio de locomoção e transporte, Extensão dos membros inferiores do corpo e Expressão de autonomia. Deste estudo, foram captadas as impressões dos usuários de cadeiras de rodas que indicaram diferentes barreiras e desafios encontrados no dia a dia em decorrência da deficiência e do uso da tecnologia assistiva, representados tanto no uso da cadeira em termos de busca de independência funcional como também no sentimento de exclusão frente a suas limitações físicas e sociais.

4. DESENHO PARAMÉTRICO PARA EXPLORAÇÃO FORMAL

Ao longo da história, o desenho paramétrico ganhou sua primeira definição no ano de 1940 com o arquiteto Luigi Moretti, a partir do termo “Architettura Parametrica” (FRAZER, 2016). O funcionamento de um modelo parametrizado remete a valores que podem ser atribuídos a uma determinada variável, criando diferentes soluções para um problema através de uma única fórmula (CELANI, 2003). Estes valores podem ser chamados de parâmetros, e por meio de regras, possibilitam a criação de relações entre elementos (FLORIO, 2014).

Os parâmetros não são somente números relacionados com a geometria cartesiana, eles também podem ser referenciados através de critérios estruturais, performativos, estéticos etc. (BURRY; J. BURRY, M, 2010). De acordo com Kolarevic (2005, p.25) o processo paramétrico é concebido pela criação de modelos de atributos fixos ou variáveis. Este modelo pode gerar possibilidades de modificações aos seus componentes ao longo do processo. Com isso, torna-se possível a alteração destes, ou seja, por meio da criação de um conjunto de regras, o projetista é capaz de modificar os valores iniciais ou finais de parâmetros sem que todo o processo se perca, o que possibilita a aplicação em um projeto evolutivo.

Quanto aos instrumentos, destaca-se, também, o surgimento de linguagens de programação mais simples, o que possibilita a criação de novos softwares de manipulação algorítmica em ambientes de projetação. Tais fatores abriram

portas para um pensamento mais algorítmico no processo projetual, contudo, também houve a necessidade de um entendimento maior da lógica computacional e programação (MARTINO, 2015). Sobretudo, os projetistas, em suma, não estão familiarizados com o uso de ferramentas script mais robustas. Diante disso, alguns softwares surgiram para facilitar a compreensão destes conceitos.

O modelo que mais ganhou notoriedade é formado por meio da utilização de "pacotes", estes podem ser definidos como componentes visuais que já possuem configurações e funções previamente definidas (FAGUNDES, 2019). O plugin *Grasshopper®* para o software *Rhinoceros®* utiliza estes componentes, com isso, torna o processo mais intuitivo para o uso dos projetistas que não são programadores e por consequência foi a ferramenta escolhida para esta pesquisa.

5. PROJETO EVOLUTIVO PARA OTIMIZAÇÃO

O projeto evolutivo caracteriza-se pela composição de um processo algorítmico com a finalidade de buscar potenciais alternativas para solucionar um problema em um espaço de soluções (BENTLEY, 1999). Tal processo deriva de estudos relacionados a um conjunto de métodos que possuem como característica o uso de referências comportamentais da natureza como: auto-organização e comportamento adaptativo (MITCHELL, 1999).

Em outras palavras, pode-se dizer que os algoritmos evolutivos utilizam técnicas e processos genéticos adaptáveis, cuja finalidade é a solução de problemas complexos. Derivam de três diferentes abordagens: os algoritmos genéticos, introduzidos por John Henry Holland (1929-2015), as estratégias evolutivas, propostas por Ingo Rechenberg e Schwefel e a programação evolutiva, fruto de estudos de Fogel (ZUBEN, 2000). Sobretudo, todo o processo algorítmico é composto por variáveis que possuem a função de armazenamento de informação. Sendo entendido como uma receita ou técnica para criação de algo, é constituído por um conjunto finito de regras a fim de realizar a execução de alguma ação (MITCHELL, 1999). Pode ser utilizado para a aplicação de diferentes cenários, conforme (FAGUNDES, 2019), destacando-se: (1) Otimização: pode ser utilizada quando os critérios do problema estão bem demarcados e definidos, mas sem um método direto para a escolha da solução. Para isso, realiza-se um teste de todas as possibilidades viáveis, a fim de encontrar a alternativa desejada; (2) Geração de famílias de objetos: para esta situação, quando há necessidade de gerar um amplo conjunto de possibilidades, cria-se um grupo de soluções em que os objetos possuam uma semelhança entre si, porém com características ligeiramente distintas; (3) Exploração: possui a função de criar várias possibilidades quando os critérios de necessidades do projeto não estão bem demarcados e definidos. Para isso, geram-se múltiplas possibilidades para encontrar a solução satisfatória.

De modo geral, o algoritmo evolutivo se comporta da seguinte maneira: geração de uma população por meio de critérios desejados ou aleatórios; seleção das melhores alternativas; mutação destes indivíduos visando a otimização das alternativas; e criação de uma nova geração por meio da recombinação da população inicial. O resultado deste processo ocorre devido a uma adição de informação às variáveis, que podem ser números inteiros, decimais, expressões booleanas, valores alfanuméricos, curvas, superfícies e qualquer outra forma geométrica primitiva, ou, como neste estudo, a aplicação e manipulação de resultados oriundos de um questionário. Assim sendo, o algoritmo trabalha na organização destas ações, por meio da utilização de estruturas condicionais (HENRIQUES, 2013). Estes procedimentos são realizados através da execução de um conjunto de instruções ou comandos e, para a execução da operação desejada (MITCHELL, 1999).

6. METODOLOGIA

A nova proposta de cadeira de rodas possui como base de seu conceito a busca de requisitos estéticos e simbólicos relevantes para o usuário. Portanto, como mencionado, utilizou-se a metodologia de Sapper (2015). Inicialmente, fez-se uma pesquisa bibliográfica a fim de entender a interação entre usuário e objeto e identificar quais requisitos são abordados na literatura, etapa pertencente à fase identificar. Na fase representar, aplicaram-se as técnicas de *brainstorming* e analogias, com a finalidade de gerar um painel de referências para a etapa seguinte. Na fase gerar, criaram-se os modelos parametrizados oriundos dos esboços realizados com o desenho à mão livre. Por fim, realizou-se a simulação de otimização com o auxílio do algoritmo evolutivo como conclusão da fase selecionar. Cada uma das cinco etapas será detalhada a seguir.

6.1 Fase identificar

Na fase identificar, onde o objetivo é a definição dos requisitos estéticos e simbólicos do projeto com base no usuário, foram coletadas informações a partir de uma pesquisa bibliográfica de teses, dissertações e artigos que apresentavam dados qualitativos e quantitativos sobre a relação dos usuários de cadeira de rodas, o produto em si e a sua interação com o ambiente. A partir dessa pesquisa, um referencial teórico foi construído na forma de um quadro para seleção e escolha dos conceitos, modelos e abordagens sobre cadeira de rodas que incorporariam os requisitos do projeto. Os estudos selecionados foram: (LANUTTI, 2019) - tese; (CHESANI, 2020) - artigo; (AHN et al., 1994) - artigo; (WOLNIAK, 2014) - artigo; (SIQUEIRA, 2008) - artigo. Os estudos incluem uma tese (LANUTTI, 2019) e quatro artigos científicos (CHESANI, 2020); (AHN et al., 1994); (WOLNIAK, 2014); (SIQUEIRA, 2008).

6.2 Fase representar

Nesta etapa foram gerados termos, conceitos e imagens que representam os requisitos estéticos e simbólicos selecionados na fase anterior. Duas técnicas foram adotadas na concepção dessa etapa do projeto: brainstorming e analogias. Destaca-se que, diferentemente do processo feito por Sapper (2015), tomou-se a liberdade de reestruturar o uso das ferramentas, gerando alternativas apenas de palavras durante a sessão de brainstorming e na sequência usando as analogias, em uma primeira iteração, para ampliar o leque de palavras de forma mais estruturada e, em uma segunda rodada, para tradução dos termos para imagens de formas e objetos.

6.3 Fase relacionar

Tem-se como objetivo de a fase relacionar a apresentação de um painel de referências para o projeto do produto por meio da estruturação das informações coletadas. Para tanto, utilizou-se a ferramenta de mapa mental para aproximar os conceitos visuais de analogias às formas, materiais e estruturas que sirvam de referência para um projetista. Este processo se deu por meio da remoção ou substituição de imagens abstratas em detrimento de imagens de componentes e dispositivos. Posteriormente, fez-se o detalhamento de imagens através de subcomponentes (como o assento em uma cadeira ou a roda em um carro). Finalizando a etapa, construiu-se um painel semântico com as referências selecionadas.

6.4 Fase gerar

O objetivo desta fase é a criação de alternativas de forma do produto em análise. Nesta etapa, optou-se por divergir da metodologia proposta a fim de estruturar com mais detalhes as diferentes partes que compõem uma cadeira de rodas. O produto foi dividido em cinco componentes: Encosto; Assento; Rodas; Braços; Pés.

Inspirado pelos quadros conceituais de imagens, iniciou-se o desenvolvimento de esboços de modelos de cadeiras de rodas que, na composição de alguns de seus elementos, sugerissem, através de suas formas, os requisitos estéticos e simbólicos elencados. Nessa etapa foi adotada a técnica do Brainstoming Visual, desenhando conjuntos separados de esboços de 5 modelos de cadeiras de rodas representativos de cada um dos 5 requisitos. Num segundo momento, a fim de atender às especificidades do processo de digitalização, converteu-se manualmente os esboços de cada um dos 5 modelos de cadeira de rodas em desenhos pictográficos em vista lateral.

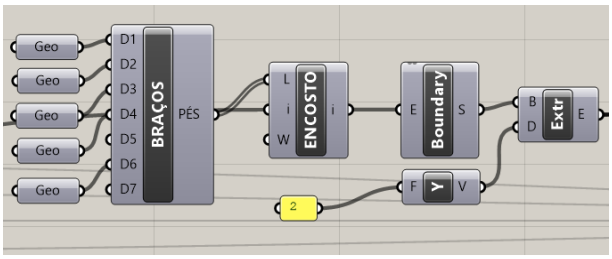


Figura 1 Armazenamento de informações da geometria primitiva para a criação do elemento tridimensional (Fonte: Elaborado pelos autores).

Após a criação dos modelos, adotou-se a utilização da ferramenta Vectorize do programa Rhinoceros, com a finalidade de extrair a informação do desenho a mão livre. Ou seja, buscou-se a transposição das curvas desenvolvidas à caneta para a criação de um polígono e consequentemente o modelo tridimensional virtual. Após esta coleta de dados referente ao esboço pictográfico, iniciou-se a utilização do desenho paramétrico assistido pela ferramenta Grasshopper, visto na Figura 1, com a parametrização de cada polígono referente aos requisitos e seus componentes como modelo primitivo. Para isso, foram utilizados os comandos geometry - como armazenamento da informação e o componente boundary surface - para a criação de superfícies por meio dos polígonos e as extrusões de cada superfície para a obtenção do modelo tridimensional.

Como consequência do processo, aplicou-se o mesmo conjunto de componentes para os demais requisitos, a fim de possibilitar a aplicação do algoritmo genético. Para isso, foram criados 6 componentes parametrizados da cadeira de rodas, dentre eles: encosto, banco, pés, braços, rodas grandes e rodas pequenas.

Os modelos tridimensionais oriundos de cada requisito foram implantados de forma que suas posições no espaço tridimensional fossem iguais e organizadas (Figura 2) em camadas distintas, com a finalidade de alternar diferentes componentes de cada requisito. Para possibilitar assim a criação de modelos diversificados de cadeiras de rodas.

A fim de possibilitar a alternância e combinação dos elementos referentes a cada requisito, utilizou-se o componente "*list item*" de cada componente merge (junção dos elementos tridimensionais) dos cinco modelos. Todos os componentes foram interligados por meio da criação de um intervalo de 0 a 4 representando cada um dos modelos: moderno - 0; orgânico -1; adaptativo - 2; autonomia - 3; estabilidade - 4. Ainda, para a variação formal, foram criados cinco componentes "*number slider*" com um intervalo de 0 a 4 para cada elemento da cadeira.

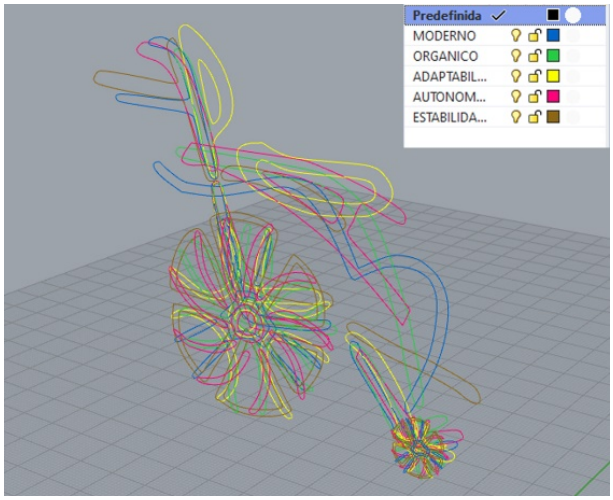


Figura 2 Sobreposição dos polígonos vetorizados e parametrizados oriundos do desenho a mão livre (Fonte: Elaborado pelos autores).

Deste modo, foi possível criar diferentes modelos por meio da alternância de cada *slider* (Figura 3) e assim alimentar as diferentes alternativas do algoritmo evolutivo.

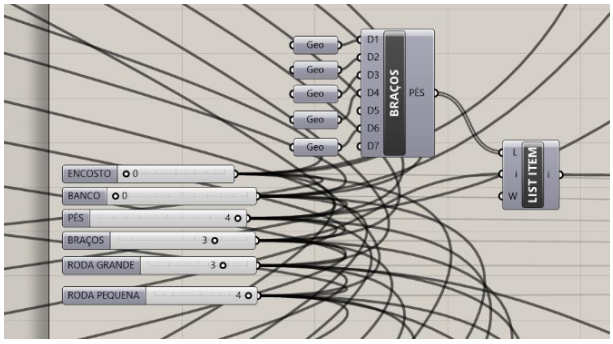


Figura 3 Intervalo da variação dos requisitos e componentes (Fonte: Elaborado pelos autores).

6.5 Fase selecionar

Nesta etapa da metodologia, buscou-se escolher os melhores conceitos de produto. Neste contexto, melhor significa que está mais alinhado com os requisitos estéticos e simbólicos por meio de diferentes técnicas de mensuração. Na dissertação de Sapper (2015), sugere-se o uso de ferramentas como Seis Chápeus (DE BONO, 1994), Matriz de Decisão (ULRICH; EPPINGER, 2008) ou de avaliação (BAXTER, 2000) e escala de diferencial semântico (OSGOOD, 1961; PASQUALI, 2010). Os autores, no entanto, optaram pelo uso de uma versão simplificada da última ferramenta para avaliação dos conceitos.

Para prosseguir com a análise, foi necessário primeiro entender que, apesar da criação de um modelo representativo para cada requisito estético e simbólico, sabe-se que o conceito final é dotado de múltiplos significados com diferentes intensidades (uma cadeira moderna também pode ser estável, por exemplo). O problema inicial a ser resolvido, então, foi o de como medir conceitos subjetivos existentes em produtos físicos.

A fim de identificar estas diferentes percepções e tentando não se limitar a visão apenas dos autores, optou-se pela criação de um questionário de avaliação de requisitos. O questionário concebido consiste em uma série de 25 perguntas comparando os 5 requisitos principais com os 5 modelos de cadeira de rodas.

As respostas se dão na forma de uma escala *Likert* de 1 a 5, onde 1 significa que a cadeira não demonstra o atributo em questão e 5 significa que ela é fortemente representativa do mesmo. Fez-se uma revisão às cegas junto ao grupo de estudo de um professor pesquisador, onde obteve-se um total de 17 respostas. A fim de obter uma nota global de cada requisito, para cada conceito de cadeira de rodas, multiplicou-se o peso de cada nota da escala *Likert* à quantidade de votos que cada item obteve, realizando-se ao final a soma dos valores e divisão pela quantidade de participantes. Por fim, normalizaram-se os dados, dividindo-os pelo valor máximo da escala, que é 5, a fim de obter notas entre 0 e 1, que também podem ser interpretadas como 0% a 100% de conformidade do modelo com o requisito.

Após a coleta de dados, foi possível realizar a parametrização dos resultados obtidos no questionário com cada componente da cadeira, e consequentemente a criação de um algoritmo genético. A elaboração se deu pelo armazenamento de valores conforme os resultados do questionário, acerca de cada componente de seu respectivo requisito.

Para isso, foram criados painéis no *grasshopper* com os resultados de cada modelo. Como exemplo, é mostrado na Figura 4 o requisito estabilidade, tendo o modelo A obtido uma nota 0,59, conforme o questionário. Já o modelo B, 0,50, modelo C, 0,75 e assim por diante. Relembrando que, em cada componente da cadeira, existe um *slider* de 0 a 4 interligado com o seu respectivo valor de requisito. Desse modo, ao alternar os valores dos sliders iniciais, o modelo sofrerá variações formais. O conjunto de 6 valores foi somado e posteriormente dividido para a obtenção do valor final referente ao requisito.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas sessões seguintes serão apresentados os resultados obtidos em cada etapa da metodologia de Sapper, (2015) com a união das ferramentas de desenho paramétrico e técnicas de algoritmo evolutivo propostas pelos autores.

7.1 Requisitos estéticos e simbólicos

A partir dos resultados do tópico 6.1 da fase identificar, os requisitos foram levantados conforme ilustrado no Quadro 1. Os requisitos extraídos da literatura foram, na sequência, traduzidos para atributos conforme suas características, como ilustra o Quadro 2.

Por meio de votação simples entre os autores, os cinco requisitos estéticos e simbólicos mais relevantes foram selecionados para dar seguimento ao estudo, três deles de cunho prático (adaptabilidade, autonomia e estabilidade) e dois relacionados à linguagem visual (formas orgânicas e modernas).

Dos atributos relacionados a significados, optou-se por não selecionar nenhum nesta categoria devido a carga subjetiva e interpretativa dos termos na sua transposição para atributos físicos e de projeto.

Quadro 1 Requisitos obtidos na revisão bibliográfica.

Estudo 1	Estudo 2
força simpatia amizade teimoso	companheirismo cumplicidade consoles customização adaptabilidade
Estudo 3	**Estudo 4**
moderno esportivo formas orgânicas mobilidade autonomia pertencimento	locomoção aprimoramento superar barreiras movimentação adequação estabilidade segurança
Estudo 5	
independência autonomia liberdade mobilidade facilidade	

(Fonte: Elaborado pelos autores)

Quadro 2 Resumo de atributos obtidos na pesquisa bibliográfica.

PRÁTICOS	FORMA E LINGUAGEM VISUAL	SIGNIFICADO
customização **adaptabilidade** locomoção alcance mobilidade **autonomia** adequação **estabilidade** segurança	**moderno** **formas** **orgânicas**	simpatia amizade teimoso pernas companheirismo cumplicidade pertencimento independência liberdade facilidade

(Fonte: Elaborado pelos autores)

7.2 Brainstorming e analogias

Através do *brainstorming*, chegou-se a uma seleção de conceitos gerados a partir de cada um dos requisitos selecionados na fase anterior, conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 Conceitos gerados a partir de cada requisito.

Moderno	Formas Orgânicas
urbano, minimalista cantos vivos, esportivo	curvas, natureza movimento, tai chi ondas, líquido
Adaptabilidade	**Autonomia**
evolução, transformers camaleão, intempéries adequações, customização ambiente	veículo, mobilidade vida útil, alcance locomoção, durabilidade existir, independente
Estabilidade	
chão, robustez, estrutura força, sólido, segurança	

(Fonte: Elaborado pelos autores)

Por analogias, buscou-se palavras representativas de formas e objetos que pudessem representar os termos extrapolados no *brainstorming*, mostradas no Quadro 4.

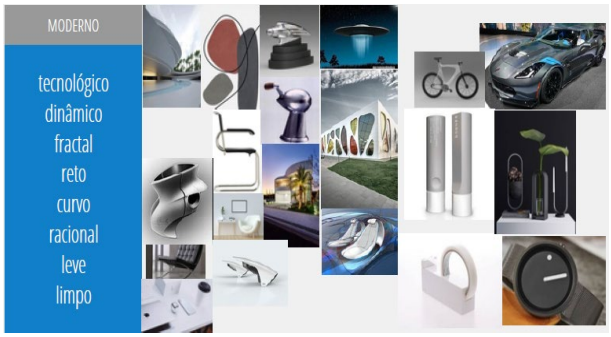
Na sequência, uma nova rodada de analogias foi realizada, desta vez com o foco na pesquisa de imagens que pudessem representar as formas e objetos elencados no Quadro 4. O objetivo final desta etapa é ter um agrupamento visual de conceitos representativos dos atributos estéticos e simbólicos. No quadro 5 são mostrados os conceitos selecionados para representar o atributo "Moderno". Destaca-se a referência a elementos minimalistas, de cunho racional.

Quadro 4 Palavras representativas de formas e objetos.

Moderno	Formas Orgânicas
tecnológico dinâmico fractal reto curvo racional leve limpo	ovo folhas fluido colmeia espiral
Adaptabilidade	**Autonomia**
divisórias transformação bolsas mochilas console encaixe	articulação rodas asas braços pernas subir e descer jornada
Estabilidade	
rocha montanha torre quadrado treliça	

(Fonte: Elaborado pelos autores)

Quadro 5 Mapa conceitual do requisito Moderno.



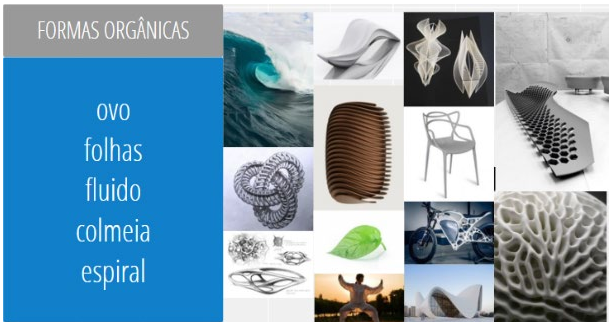
(Fonte: Elaborado pelos autores)

No Quadro 6, se tem as imagens para "Formas Orgânicas", observando-se formas oriundas da natureza com linhas não ortogonais e elementos aleatórios.

No Quadro 7, são exibidas imagens inspiradas no requisito "Adaptabilidade". De elementos da natureza e de alguns objetos, buscou-se inspiração para possibilidades de customização de itens na composição das cadeiras de rodas.

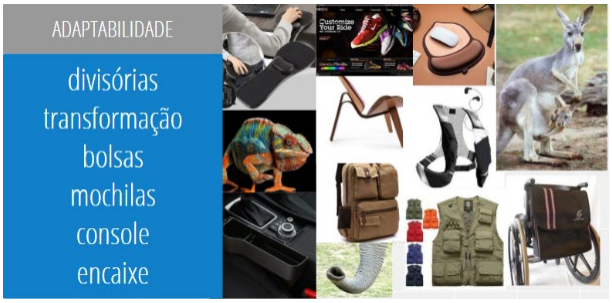
O Quadro 8 apresenta as opções encontradas para "Autonomia". Nesse painel foram incluídos elementos relacionados à mobilidade e liberdade de movimento proposto para o objeto a ser desenvolvido.

Quadro 6 Mapa conceitual do requisito Formas Orgânicas.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Quadro 7 Mapa conceitual do requisito Adaptabilidade.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Quadro 8 Mapa conceitual do requisito Autonomia.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

Por fim, no Quadro 9, se vê a representação do termo "Estabilidade". Solidez e figuras relacionadas a bases de equilíbrio foram incorporadas à composição desse painel.

Quadro 9 Mapa conceitual do requisito Estabilidade.



(Fonte: Elaborado pelos autores)

7.3 Painel semântico

No intento de aproximar os conceitos obtidos anteriormente a referências mais diretamente aplicáveis ao desenvolvimento de um produto, procurou-se traduzir os requisitos visuais em subcomponentes de uma cadeira de rodas, como apresentado na Figura 5.

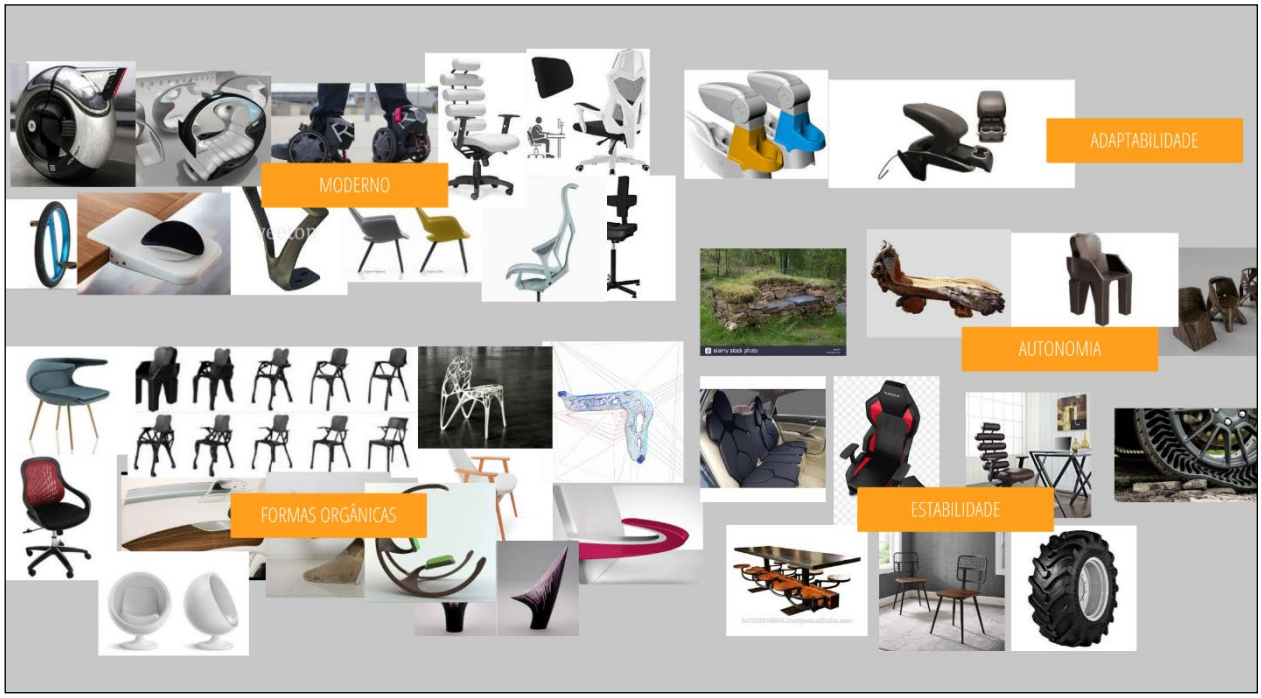


Figura 5 Painel Semântico de todos os requisitos estéticos e simbólicos traduzidos em subcomponentes.

7.4 Brainstorming visual e desenho paramétrico

Concluída a etapa de construção dos quadros conceituais de imagens e palavras representativas de cada requisito, partiu-se inicialmente para o desenvolvimento de esboços de cadeiras de rodas. Cabe salientar a preocupação em desenvolver e inserir os desenhos no processo projetual na forma de reflexão-na-ação (SCHÖN, 2000).

Dessa maneira, registrou-se graficamente através de palavras e frases, junto aos desenhos e dentro da mesma folha, os pensamentos sobre o objeto esboçado simultaneamente ao ato de desenhar. Essa atividade possibilitou não só registrar visualmente a informação, mas também construir novas interpretações a respeito do seu significado.

Embora esse tipo de desenho expressional configure uma representação preliminar, feita de forma rápida, preocupou-se em considerar na sua composição alguns elementos-chave do produto proposto, indicando dessa forma a "essência" do objeto (PEI, 2009). Nos esboços do modelo Moderno, ilustrados na Figura 6, buscou-se traduzir este requisito através de formas onduladas e poucos elementos a fim de se obter um resultado minimalista de cadeira de rodas.

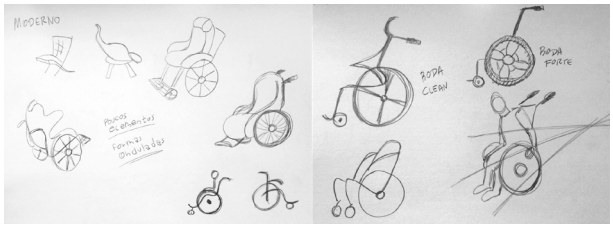


Figura 6 Esboço do requisito Moderno (Fonte: Elaborado pelos autores).

Como Formas Orgânicas, tomou-se por referências estruturas presentes na natureza tais como a leveza da anatomia de uma folha, representada nos esboços da Figura 7.

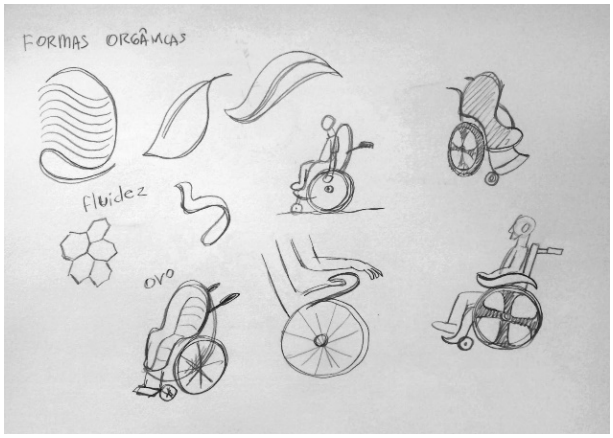


Figura 7 Esboço do requisito Formas Orgânicas (Fonte: Elaborado pelos autores).

Para o requisito Adaptabilidade foram estudadas, conforme ilustrado na Figura 8, possibilidades de customização de itens para a cadeira de rodas como mochilas, apoio para braço entre outros itens escritos junto aos desenhos.

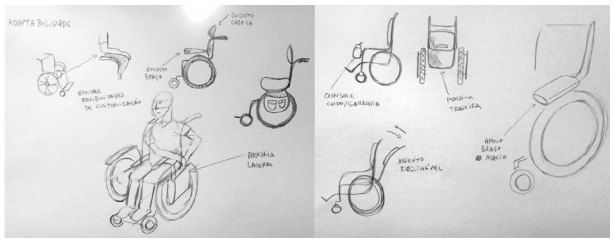


Figura 8 Esboço do requisito Adaptabilidade (Fonte: Elaborado pelos autores).

Para o requisito Autonomia, exibido na Figura 9, preocupou-se com o estudo de questões mais técnicas envolvendo possíveis detalhamentos sobre equilíbrio e firmeza.

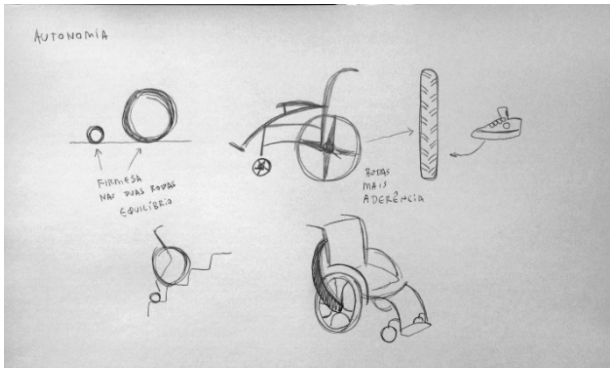


Figura 9 Esboço do requisito Autonomia (Fonte: Elaborado pelos autores).

Nos esboços que envolveram a concepção do requisito Estabilidade, seguiu-se também um viés mais técnico com foco na caracterização das rodas como demonstrado na Figura 10.

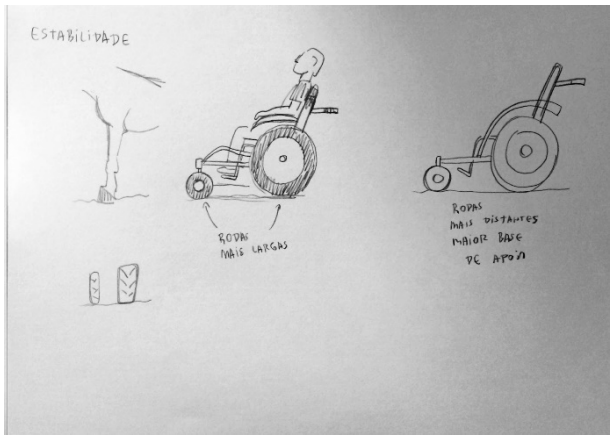


Figura 10 Esboço do requisito Estabalidade (Fonte: Elaborado pelos autores).

A realização desse exercício manual de esboços ampliou o leque de possibilidades de representação visual dos requisitos elencados e tornou o processo projetual mais rico do ponto de vista criativo. Como etapa final do processo de desenho a mão livre, vistas foram geradas em estilo pictográfico a fim de serem digitalizadas na sequência, como mostrado na Figura 11.

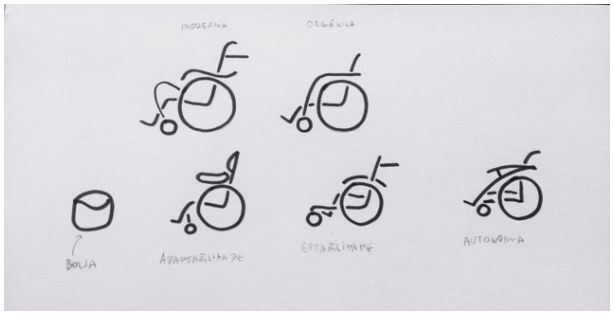


Figura 11 Esboços pictográficos de cada requisito (Fonte: Elaborado pelos autores).

7.5 Modelos Parametrizados

Após a criação do algoritmo, geraram-se 5 modelos (Figura 12) referentes a cada requisito. Destaca-se que não houve manipulações para o refinamento das malhas topológicas dos modelos tridimensionais, de modo a facilitar o cálculo de processamento do algoritmo evolutivo.

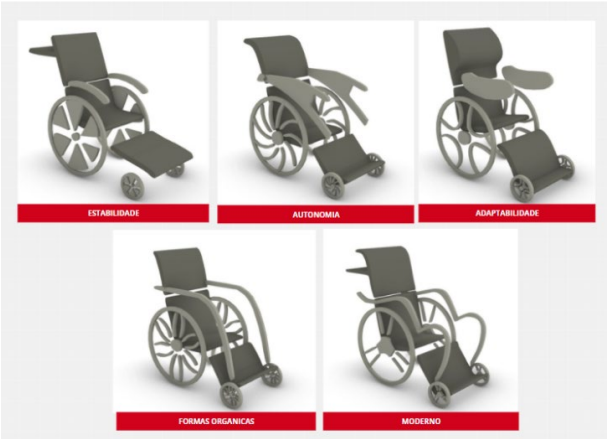


Figura 12 Modelos tridimensionais parametrizados (Fonte: Elaborado pelos autores).

Em suma, o algoritmo possibilitou o tracejado do contorno de cada elemento pictográfico, de forma que todos os elementos obedecessem aos requisitos dimensionais mínimos orientados pela NBR 9050.

7.6 Questionário de requisitos estéticos e simbólicos

A fim de mensurar a eficácia da representação de cada requisito em cada conceito de cadeira de rodas, fez-se a aplicação de um questionário onde cada item concebido com um requisito em mente foi anonimizado da seguinte forma: Adaptabilidade - A; Autonomia - B; Estabilidade - C; Moderno - D; Formas Orgânicas - E. O resultado da aplicação desta ferramenta é mostrado na Figura 13.

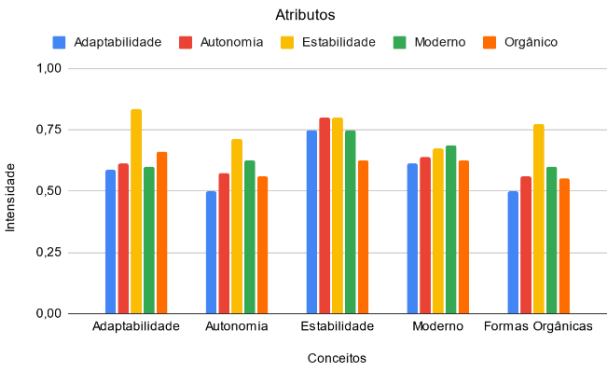


Figura 13 Resultado da aplicação do questionário (Fonte: Elaborado pelos autores).

Percebe-se que, mesmo tendo uma metodologia clara para concepção de modelos de cadeira de rodas representativos dos requisitos escolhidos, a percepção do usuário ou público difere grandemente devido ao julgamento subjetivo de tais requisitos. Os resultados tabulados foram destacados no Quadro 10 e serviram como subsídio para a elaboração da avaliação do algoritmo evolutivo.

Quadro 10 Resultado do questionário.

Modelo Avaliação	A	B	C	D	E
Adaptabilidade	0,59	0,50	0,75	0,61	0,50
Autonomia	0,61	0,58	**0,80**	0,64	0,56
Estabilidade	**0,84**	**0,71**	**0,80**	0,68	**0,78**
Moderno	0,60	0,63	0,75	**0,69**	0,60
Orgânico	0,66	0,56	0,63	0,63	0,55

(Fonte: Elaborado pelos autores)

7.7 Processo Evolutivo

A partir da coleta de dados e parametrização dos modelos referentes aos resultados do questionário, foi possível realizar uma simulação evolutiva para exploração e geração de alternativas com os valores de dados obtidos.

Sendo assim, cada componente do modelo recebeu uma "nota" referente a sua avaliação. Em um primeiro momento, realizou-se uma geração randômica de famílias de objetos, através do componente *biomorpher*. A simulação possibilitou a geração de 12 famílias, agrupadas por semelhança formal (Figura 14) e performatizadas conforme os resultados obtidos no questionário.

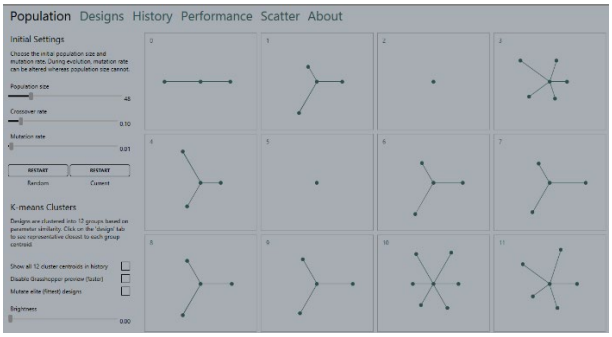


Figura 14 Agrupamento das alternativas por semelhança (Fonte: Elaborado pelos autores).

Os parâmetros iniciais do componente *biomorhper* foram organizados de acordo com o seu *default* de configuração com 48 alternativas distribuídas em 12 grupos por similaridade formal. Tais parâmetros serviram como operadores de diversidade para a exploração de soluções. O primeiro parâmetro, que também pode ser chamado de recombinação, foi utilizado para gerar uma variação entre os "parentescos", ou seja, possíveis variações entre indivíduos filhos. O segundo parâmetro teve como objetivo, o acréscimo de uma diversidade genética da população por meio da inserção de novos cromossomos (características) nos indivíduos.

Após a geração 1 (Figura 15), cada família de objeto obteve uma nota referente aos requisitos de adaptabilidade, autonomia, estabilidade, moderno e curvas orgânicas. Desse modo, cada família possui uma mensuração desses valores destacados nos círculos superiores de cada modelo tridimensional. Destaca-se também que, dentre as novas gerações, a ferramenta possibilita a geração de novos modelos a partir da minimização e maximização dos valores de cada requisito.



Figura 15 Primeira geração de alternativas (Fonte: Elaborado pelos autores).

Ainda para evidenciar a possibilidade de otimização por meio do algoritmo evolutivo, os modelos 0 e 1 foram cruzados (Figura 16) com a finalidade de demonstrar os valores oriundos de uma nova geração, assim possibilitando a avaliação dos requisitos deste novo modelo, caso necessário.



Figura 16 Segunda geração de alternativas (Fonte: Elaborado pelos autores).

7.8 Discussões

A integração bem-sucedida entre a metodologia de Sapper (2015) e ferramentas computacionais resultou em um processo sistemático e replicável. O desenvolvimento de um fluxo de trabalho que conecta o desenho manual, parametrização digital e otimização algorítmica demonstrou a viabilidade de tradução de requisitos subjetivos em parâmetros mensuráveis.

Além disso, a criação de uma biblioteca de componentes parametrizados abre caminho para a exploração detalhada de variações de design que se adequem as expectativas dos usuários antes mesmo de qualquer processo de fabricação.

O estudo evidencia o potencial de personalização de cadeiras de rodas, contribuindo para a humanização do design e potencialmente podendo ser estendido a outros tipos de produtos assistivos, representando um avanço importante na direção do design universal.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou como a integração entre metodologias de design centrado no usuário e ferramentas computacionais pode transformar o desenvolvimento de tecnologias assistivas. A abordagem desenvolvida não apenas validou a adaptação da metodologia de Sapper (2015) para o contexto digital, mas também estabeleceu um novo paradigma para personalização de produtos assistivos.

O impacto potencial desta metodologia estende-se além do design de cadeiras de rodas. A capacidade de parametrizar requisitos subjetivos e otimizá-los algoritmicamente abre caminhos para novas abordagens de pesquisa acadêmica sobre design de produto e a democratização do acesso a produtos mais adequados às necessidades dos usuários. As limitações

encontradas no estudo, como o escopo reduzido de validação por questionários e a simplificação dos modelos topológicos, apontam direções naturais para evolução da pesquisa. Futuros desenvolvimentos podem explorar a criação de plataformas digitais que permitam personalização direta pelo usuário final e expansão do "*framework*" para outras categorias de produtos.

REFERÊNCIAS

1. AHN, Helen C. et al. Architectural barriers to persons with disabilities in businesses in an urban community. **Journal of Burn Care & Rehabilitation**, 1994.
2. BAXTER, M. R. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2000.
3. BENTLEY, P. J. **Evolutionary Design by Computers**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1999.
4. BURRY, J.; BURRY, M. **The new mathematics of architecture**. New York: Thames and Hudson, 2010.
5. CELANI, G. **Cad criativo**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.
6. CHESANI, F. H. et al. Representações sociais dos usuários de Cadeiras de Rodas. **Saúde e Pesquisa**, Maringá, v. 13, n.3, p.573-581, jul./set. 2020. Disponível em: https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/7966. Acesso em: Acesso em: 10 abr. 2021.
7. DE BONO, **E. Criatividade levada a sério: como gerar ideias produtivas através do pensamento lateral**. Tradução: Nivaldo Montingelli Jr. São Paulo: Pioneira, 1994.
8. FAGUNDES, C. M. F. **Sistema generativo como ferramenta de otimização no processo exploratório do design de produto**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
9. FERNANDES, S. H. e SILVA, T. L. K. Tipos de desenho aplicado ao design de produto. **Revista Educação Gráfica**, Bauru, ano 17, n 2, ago 2014. Disponível em: <http://www.educacaografica.inf.br/wp-content/uploads/2014/09/10_TIPOS_DE_DESENHOS.pdf> Acesso em: 26 maio. 2021.
10. FLORIO, W. Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: dias experiências com estudantes de arquitetura. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v.6, n.2, p. 43-66, 2014.
11. FRAZER, J. Parametric Computation: History and future; Architectural Design, Vol 86, 2016, p. 18.23.
12. GODOY, V. D. M. O; ROCHA, P. A; SCHUCH, J. X. e SENNA, C. E. O sketch aplicado no design de produto. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, Florianópolis, ano 4, n 4, ago 2016. Disponível em: <https://rbeg.net/artigos/artigo35.pdf> Acesso em: 26 maio. 2021.
13. HENRIQUES, G. L. T. de C. T**etra Script: sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos**. 2013. 448 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.
14. LANUTTI, Jamille Noretza de Lima. **Compreensão dos aspectos emocionais em diferentes Cadeiras de Rodas: Uma contribuição para o Design Ergonômico e Inclusivo**. Tese (Doutorado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP. Bauru, p 233. 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/180798. Acesso em: Acesso em: 23 abr. 2021.
15. MITCHELL, M. J. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge: The MIT Press, 1999.
16. OSGOOD, C. E. **Studies on the Generality of Affective Meaning Systems**. American Psychological Association, 1961
17. PASQUALI, L. Diferencial Semântico. In: PASQUALI, L (Org.). **Instrumentação psicológica: fundamentos e práticas**. Porto Alegre: Artmed, 2010, p. 262-272.
18. PEI, Eujin. **Building a Common Language of Design Representation for Industrial Designers & Engineering Designers**. 2009. 689 f. Tese (Doutorado) - Faculty of Social Sciences and Humanities, Department Of Design & Technology, Loughborough University, 2009.
19. SAPPER, S. L. **A transposição dos requisitos estéticos e simbólicos de projeto em atributos formais do produto**. 2009. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2015.
20. SCHÖN, D. A. **Educando o Profissional Reflexivo**. Porto Alegre: Penso, 2000.
21. SIQUEIRA, Fernando Carlos Vinholes et al. Barreiras arquitetônicas a idosos e portadores de deficiência física: um estudo epidemiológico da estrutura física das unidades básicas de saúde em sete estados do Brasil. **Ciênc. saúde coletiva** [online]. 2009, vol.14, n.1, pp.39-44. ISSN 1678-4561
22. ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product Design and Development**. New York: Fourth Ed. McGraw-Hill, 2008.
23. Wellman, Parris & Krovi, Venkat & Kumar, Vijaya & Harwin, William. (1996). Design of a Wheelchair with Legs for People with Motor Disabilities. **Rehabilitation Engineering**, IEEE Transactions on. 3. 343 - 353. 10.1109/86.481974.
24. Wolniak, Radoslaw. **Factors related to architectural barriers quality of customer with disability service in Siemianowice City offices**. University of Bucharest, 2014.
25. ZUBEN, F. Computação Evolutiva: uma abordagem pragmática. In: JORNADA DE ESTUDOS EM COMPUTAÇÃO DE PIRACICABA E REGIÃO, 1., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 2000. p. 25-45.