

# VIRTUS: MÓDULO DE APOIO À GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS NO PROCESSO DE DESIGN

*VIRTUS: MODULE FOR SUPPORTING ALTERNATIVE GENERATION IN THE DESIGN PROCESS*

CORRÊA, Pablo; Doutor em Design; Atitus Educação

pablo.ermida@gmail.com

TEIXEIRA, Fábio; Doutor em Engenharia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

fabiogt@ufrgs.br

## Resumo

Este estudo apresenta o desenvolvimento de um artefato digital baseado no método *Design-by-Analogy* (DbA) para apoiar a geração de alternativas no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Desenvolvido pelo grupo PGDesign-UFRGS, o artefato tem como objetivo sistematizar o reuso de conhecimento em design, integrando modelagem funcional e busca de princípios de solução em uma plataforma online. A ferramenta foi validada com especialistas e sua eficácia foi demonstrada através de um exemplo prático, evidenciando sua capacidade de apoiar projetistas na geração de alternativas. O artefato também permite a recuperação e reutilização de soluções de design armazenadas, facilitando o processo de busca e aplicação de princípios de solução em novos projetos. Este trabalho destaca a importância de ferramentas digitais no apoio ao processo criativo e na melhoria da eficiência no desenvolvimento de produtos.

**Palavras Chave:** *design-by-analogy*; processo de desenvolvimento de produto; geração de alternativas.

## Abstract

*This article presents the development of a digital artifact based on the Design-by-Analogy (DbA) method to support the generation of alternatives in the Product Development Process (PDP). Developed by the PGDesign-UFRGS group, the artifact aims to systematize the reuse of design knowledge by integrating functional modeling and the search for solution principles into an online platform. The tool was validated with specialists, and its effectiveness was demonstrated through a practical example, highlighting its ability to support designers in generating alternatives. The artifact also allows for the retrieval and reuse of stored design solutions, facilitating the process of searching for and applying solution principles in new projects. This work emphasizes the importance of digital tools in supporting the creative process and improving efficiency in product development..*

**Keywords:** *design-by-analogy*; product development process; concept generation.

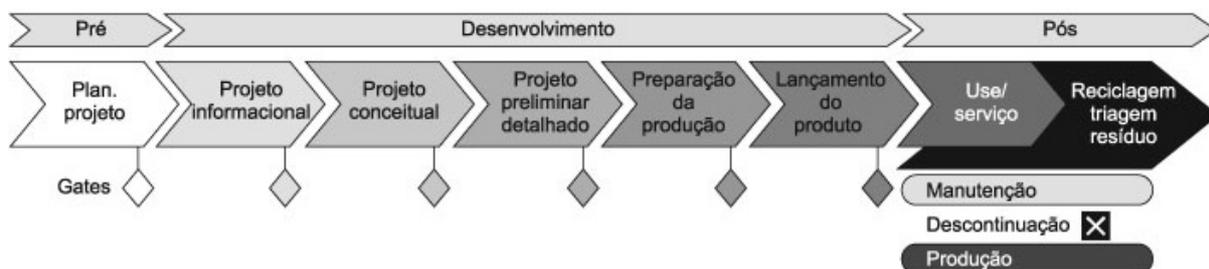
## 1 Introdução

O desenvolvimento de novos produtos em organizações pode ser analisado sob diferentes perspectivas, tais como: a maturidade da gestão organizacional, a seleção e integração de metodologias e, principalmente, a multidisciplinaridade e a capacidade das equipes em gerar ideias para solucionar problemas de projeto (ROZENFELD et al., 2006a).

A sistematização do processo de desenvolvimento de produtos (PDP) auxilia na organização e condução das etapas e atividades previstas. Nesse contexto, a fase conceitual é o momento em que as tarefas criativas são mais intensas para as equipes de projeto, que contam com técnicas e ferramentas de apoio na busca de soluções para os desafios de projeto.

O PDP inicia com a identificação de requisitos de usuário para definir um problema de projeto. Após buscar soluções para o problema, várias alternativas são geradas para atender aos requisitos estabelecidos. Essas alternativas são avaliadas e selecionadas com base em critérios específicos. O melhor conceito é então escolhido, desenvolvido e produzido, resultando em um artefato que deve obrigatoriamente satisfazer os requisitos de projeto. Após a fase de concepção do produto, são planejadas e realizadas várias atividades, incluindo o lançamento, o acompanhamento da produção e manutenção, até a reutilização dos materiais e eventual descontinuação do produto no mercado (ROZENFELD et al., 2006a). As fases e suas subdivisões podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1: Ciclo de vida do projeto do produto.



Fonte: adaptado Rozenfeld et al. (2006).

Durante o ciclo de desenvolvimento do produto, a fase de geração de alternativas envolve atividades intensas de processo criativo, onde a equipe de projeto busca encontrar soluções para o design do produto que atendam a todas as especificações de projeto Baxter (2011).

Neste contexto, a modelagem funcional surge como uma técnica eficaz para a decomposição de problemas de design, ajudando a mitigar os efeitos da fixação de ideias e fomentando a geração de um maior número de conceitos na etapa de geração de alternativas. Essa decomposição envolve a divisão da função global do produto em um conjunto de funções e fluxos interconectados, que juntos executam a função total. Ao identificar as funções elementares, o projetista pode encontrar soluções com maior facilidade. Essa abordagem não só reduz a complexidade do problema, mas também pode resultar em economia significativa de tempo e custo do projeto (FU et al., 2014; PAHL; BEITZ, 1988).

Além disso, o aproveitamento de experiências anteriores é amplamente reconhecido por indústrias e pesquisadores como um recurso eficaz na busca de soluções, especialmente em

atividades criativas dentro do processo de design (GUNDUZ; YETISIR, 2016).

O uso de analogias é frequentemente aplicado para exemplificar o raciocínio que conduz a uma ideia específica e para apresentar soluções a problemas de design. Ao estabelecer associações entre termos semelhantes, elas têm o potencial de inspirar a criação de algo inovador e original (LINSEY; TEXAS; MARKMAN, 2008). No processo de design, o uso de analogias para reutilizar o conhecimento deu origem ao conceito de *Design-by-Analogy* (DbA). Este é um campo de estudo em crescimento, explorado para incentivar a geração de alternativas e reduzir os efeitos da fixação de ideias repetitivas durante a fase conceitual da busca por soluções (CHAKRABARTI et al., 2011; FU et al., 2014; JIANG et al., 2021; LINSEY, 2007).

A literatura apresenta estudos que resultaram em diversos métodos baseados em DbA, muitos dos quais implementados por meio de ferramentas computacionais. Essas ferramentas auxiliam equipes de projeto na execução de várias tarefas de design, como geração de ideias, busca em bases de dados, modelagem de projetos, simulações, entre outras. Este universo demonstra a efetividade dessas ferramentas, especialmente no suporte às atividades criativas no processo de design (BRYANT, 2007; MORENO et al., 2014).

Diante deste contexto, o trabalho de Correa (2021), realizado pelo grupo de pesquisa PGDesign-UFRGS, resultou no desenvolvimento de um artefato digital projetado para auxiliar equipes de projeto na geração de alternativas durante o processo de design. O artefato se baseia nos princípios do DbA para propor um método sistemático e eficaz.

O software gerado é o primeiro módulo construído para a plataforma Virtus (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010), projeto desenvolvido no âmbito do mesmo grupo de pesquisa. A proposta consiste em um sistema online projetado para agrupar ferramentas de auxílio à tomada de decisão de projeto no PDP. O Virtus tem o objetivo de armazenar o acompanhamento do projeto ao longo de todas as etapas de modo colaborativo, a partir das atividades das equipes de projeto em ferramentas desenvolvidas para o seu ecossistema. A partir disso, pretende colaborar tanto na qualidade do processo de projeto e no PDP, quanto na qualidade do produto final.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a aplicação prática da ferramenta de geração de alternativas de Correa (2021), que é parte do sistema Virtus, por meio de um exemplo real em um ambiente de projeto, além de explorar os fundamentos que nortearam sua concepção e desenvolvimento.

## 2 Metodologia

O desenvolvimento do artefato digital baseado em um método DbA proposto por Correa (2021) teve como objetivo armazenar e reutilizar o conhecimento em design, apoiando sistematicamente o projetista durante o processo de geração de alternativas no desenvolvimento de produtos. Durante a concepção do software, o projeto contou com a colaboração de um grupo de especialistas do PGDesign-UFRGS, por meio de dois grupos focais, em atividades de definição e avaliação do artefato digital. A validação interna do artefato ocorreu por meio da verificação do cumprimento dos seus requisitos e de um questionário aplicado aos especialistas durante o segundo grupo focal.

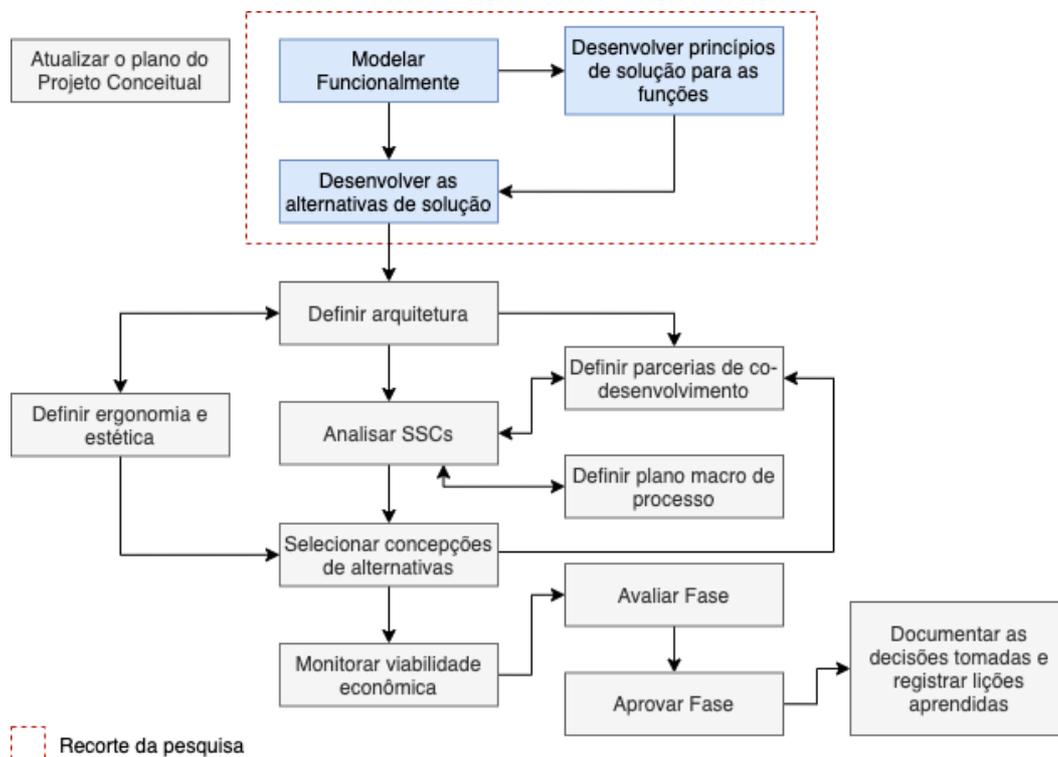
Como o trabalho de Correa (2021) visava a criação de um artefato digital, foram adotados métodos específicos para esse propósito. O método de pesquisa Design Science Research (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014) e os métodos ágeis para o projeto e desenvolvimento do artefato digital

demonstraram ser eficazes para garantir o rigor necessário na geração de conhecimento científico e na produção de software. O modelo gerado pela aplicação dessa combinação também é um resultado do trabalho e pode ser reutilizado por outros pesquisadores em contextos de pesquisas similares.

A análise de artefatos existentes por meio da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) realizada durante a pesquisa de Correa (2021) foi relevante para refinar o escopo e as fronteiras do artefato proposto. Os requisitos identificados nestes artefatos incluem aspectos que contribuíram tanto da definição do método para reuso de conhecimento baseado em DbA quanto da implementação da ferramenta computacional responsável pela execução do artefato em seu ambiente.

No processo de design, o entendimento das atividades envolvidas na geração de alternativas e seus desafios serviu como ponto de partida para o desenho da solução pretendida. Durante o projeto conceitual, as equipes envolvidas realizam atividades relacionadas à busca, geração, representação e seleção de soluções para o problema de design (PAHL; BEITZ, 1988; ROZENFELD et al., 2006b; ULLMAN, 2010; ULRICH; EPPINGER, 2015). A Figura 2 ilustra todas as atividades e suas interdependências na etapa do projeto conceitual, destacando apenas as tarefas relacionadas à geração de alternativas, onde o software se propõe a oferecer suporte.

Figura 2: Atividades e dependências da etapa de Projeto Conceitual.

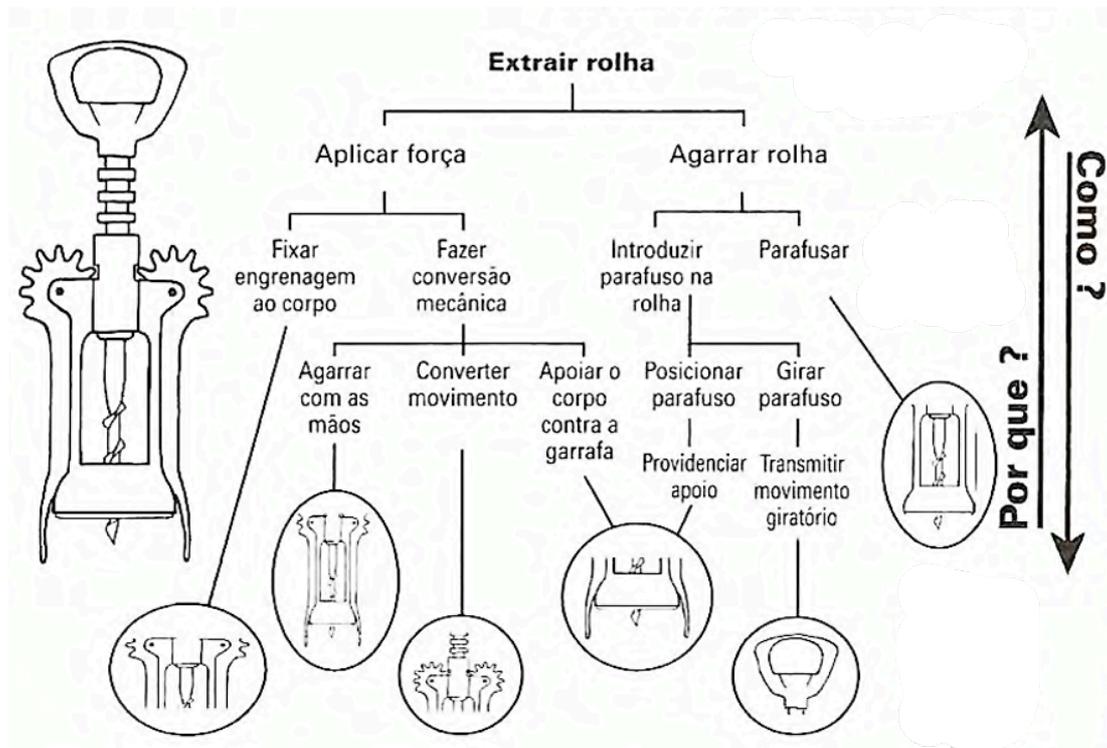


Fonte: adaptado Rozenfeld *et al* (2006).

A atividade de modelagem funcional do produto é um processo iterativo e decisivo na busca por soluções durante a etapa de geração de alternativas no PDP. Frequentemente, a busca por princípios de solução para satisfazer uma função específica de um novo produto começa simultaneamente à modelagem funcional. Portanto, permitir que o projetista integre essas atividades em uma única interface, suportada por funcionalidades que promovam o reuso de conhecimento através de uma ferramenta computacional, foi um dos pontos explorados para enriquecer o processo.

Para facilitar o entendimento da tarefa, a Figura 3 exibe um exemplo de árvore funcional para um saca-rolhas. Nesse exemplo, pode-se observar a árvore completa com seus diferentes níveis e tipos de funções. Além disso, são destacadas as partes do produto que correspondem a cada função secundária, indicando o nível em que os princípios de solução devem ser associados.

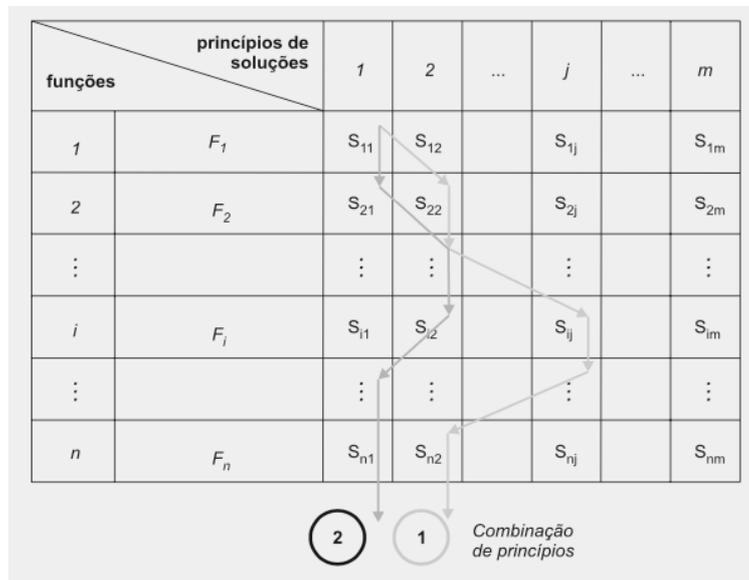
Figura 3: Árvore funcional de um saca-rolhas.



Fonte: adaptado de Baxter (2011).

A atividade de desenvolver alternativas de solução requer que os projetistas combinem diversos princípios de solução encontrados para configurar a arquitetura de uma solução e gerar o maior número possível de conceitos. A matriz morfológica é uma ferramenta visual que lista as funções essenciais do produto e os princípios de solução identificados, organizados em uma matriz. A partir dessa estrutura, o projetista pode selecionar os princípios de solução para cada função, obtendo assim os princípios de solução totais que representam um conceito para o produto, conforme ilustrado na Figura 4 (ROZENFELD *et al.*, 2006). Essa ferramenta consolidada no PDP foi uma referência fundamental para adaptar ao artefato desenvolvido.

Figura 4: Matriz morfológica e a combinação de princípios de solução



Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006)

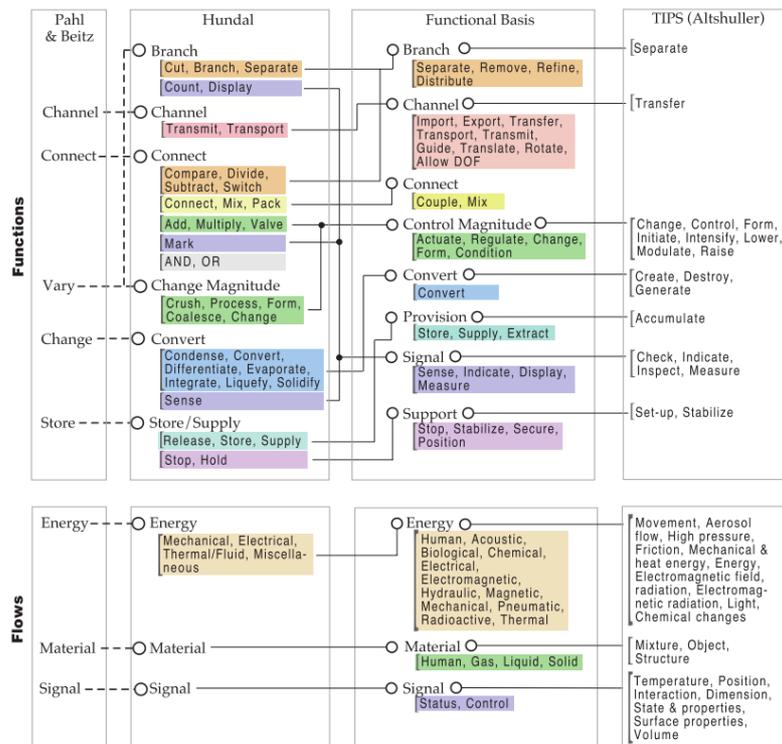
As técnicas utilizadas nas atividades previstas foram implementadas através de funcionalidades no artefato digital, permitindo o registro das informações geradas durante o uso pelas equipes de projeto em uma base de dados. O armazenamento adequado destas informações torna possível sua futura recuperação, o que possibilita o reuso do conhecimento gerado de acordo com as estratégias adotadas.

Para permitir tais recursos foi necessária a construção de uma base de conhecimento. Ao contrário das bases de dados tradicionais, as bases ou repositórios de conhecimento são considerados bases de dados inteligentes, baseadas no conhecimento e estruturadas por uma ontologia. Essas bases de conhecimento são projetadas para facilitar a representação, captura, compartilhamento e reuso do conhecimento, e não apenas para armazenar dados (SZYKMAN *et al.*, 2000).

O termo “ontologia” origina-se da Filosofia, onde se refere às questões da existência dos seres vivos. No entanto, sua adaptação para a área computacional trata da representação de um conjunto de conceitos analisados e determinados em um domínio específico (GRUBER, 1993). As ontologias podem ser vistas como um conjunto de axiomas lógicos formulados para dar significado a um vocabulário controlado dentro de uma área específica do conhecimento (GUARINO, 1998).

Portanto, o trabalho exigiu a modelagem de uma ontologia para representar o conhecimento envolvido. A utilização de taxonomias para compor essa ontologia facilita os processos de manipulação das informações, padronizando a linguagem do domínio mapeado. A revisão da literatura identificou a taxonomia Functional Basis (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002), aplicada em artefatos e repositórios de design para representar as funcionalidades de um produto, um requisito fundamental para o artefato digital. Assim, a Functional Basis foi adotada e incorporada à ontologia modelada. A Figura 5 apresenta o vocabulário unificado e as relações com as metodologias de design utilizadas para sua construção.

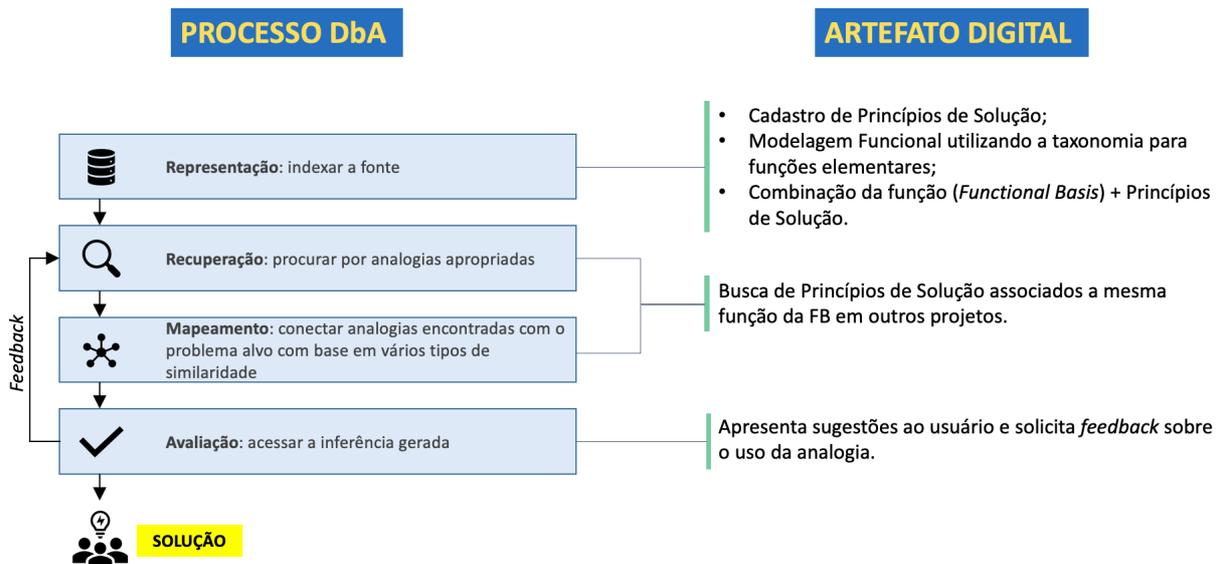
Figura 5: Comparação dos estudos de análises funcionais e a Functional Basis.



Fonte: (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002).

Cabe ressaltar o enquadramento do artefato produzido no contexto do campo de DbA. Para verificar esta relação, a Figura 6 apresenta o processo tradicional DbA apresentado por Jiang et al. (2021) e a correspondência de suas etapas com as funcionalidades existentes do artefato.

Figura 6: Relação entre o processo DbA e o artefato digital.



Fonte: (CORREA, 2021).

Portanto, o método implementado no artefato digital para atender as atividades da etapa de geração de alternativas do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) (ROZENFELD *et al.*, 2006) compreende as atividades de (i) modelar funcionalmente o produto, (ii) desenvolver princípios de solução para as funções e (iii) desenvolver as alternativas de solução orientam a sequência dos passos definidos. A compreensão dessas atividades, que compõem o ambiente externo do artefato, permitiu identificar as oportunidades para a aplicação das estratégias de reuso do conhecimento baseadas em DbA. De forma geral, o artefato é capaz de auxiliar o projetista no seguinte percurso (CORREA, 2021):

- i. formular a função global do produto;
- ii. modelar funcionalmente o produto através de uma árvore funcional;
- iii. identificar as funções elementares que podem ser associadas a um princípio de solução;
- iv. buscar um ou mais princípios de solução para cada função elementar;
- v. apresentar princípios de solução e sugerir soluções a partir de analogias com outros sistemas;
- vi. associar um ou mais princípios de solução para cada função elementar e registrar o *feedback* sobre as analogias sugeridas, quando houver;
- vii. armazenar combinações para sugerir novas analogias;
- viii. combinar os princípios de solução selecionados e funções para gerar uma ou mais alternativas.

A seguir, é apresentado um exemplo prático utilizado de projeto para o desenvolvimento de um descascador de batatas manual do trabalho de Correa (2021), extraído do livro de BAXTER (2011). No entanto, é importante ressaltar que esses exemplos não necessariamente refletem a qualidade e o nível de detalhamento aplicados no processo real de design. O propósito principal dessas informações é demonstrar a aplicação do método DbA e a interação do usuário com o artefato digital.

### 3 Aplicação

Para evidenciar os resultados da sua performance, o artefato digital é demonstrado por meio da apresentação da sua interface gráfica, das possibilidades de interação e da explicação detalhada do seu funcionamento.

A Figura 7 ilustra os quatro módulos dispostos em abas na parte superior, desenvolvidos para organizar e simplificar a interação do usuário com base nas suas necessidades e na estrutura de trabalho definida pelo PDP. O primeiro módulo permite visualizar as informações cadastradas para o projeto e oferece um botão de edição para modificação, caso necessário. Como exemplo, utilizamos um descascador de batatas manual extraído do livro de Baxter (2011).

Figura 7: Visualização das informações do projeto.

The screenshot shows a web interface for 'Projeto Conceitual'. At the top, there is a navigation bar with a back arrow, the title 'Projeto Conceitual', and a breadcrumb trail 'Virtus / Projetos / Projeto Conceitual'. Below the navigation bar, there are four main tabs: 'INFORMAÇÕES DO PROJETO' (highlighted in blue), 'FUNÇÃO GLOBAL', 'MODELAGEM FUNCIONAL', and 'GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS'. Each tab has a corresponding numbered indicator (1, 2, 3, 4) below it. The 'INFORMAÇÕES DO PROJETO' section displays the following details:

- Nome:** Descascador de batatas
- Descrição:** Descascar batatas para cozinhar
- Tags:** Ergonomia
- Requisitos de Projeto:** Seguro
- Requisitos de Usuário:** Fácil manuseio

Fonte: (CORREA, 2021).

Na Figura 8, que representa o módulo 2, a interface permite ao projetista realizar o primeiro passo do método DbA: **(i) formular a função global do produto**. No formulário apresentado, o usuário deve preencher os campos do título da função, fluxos de entrada e saída, além de uma descrição detalhada.

Figura 8: Inclusão da função global.

The screenshot shows the 'FUNÇÃO GLOBAL' section of the interface. The 'FUNÇÃO GLOBAL' tab is highlighted in blue. Below the tabs, there are four numbered indicators (1, 2, 3, 4) corresponding to the tabs. The 'FUNÇÃO GLOBAL' section contains the following fields:

- Função Global (Verbo + Substantivo):** Descascar batatas
- Entradas:** Batata com casca
- Saídas:** Batata sem casca
- Descrição:** Descascar as batatas para cozinhar

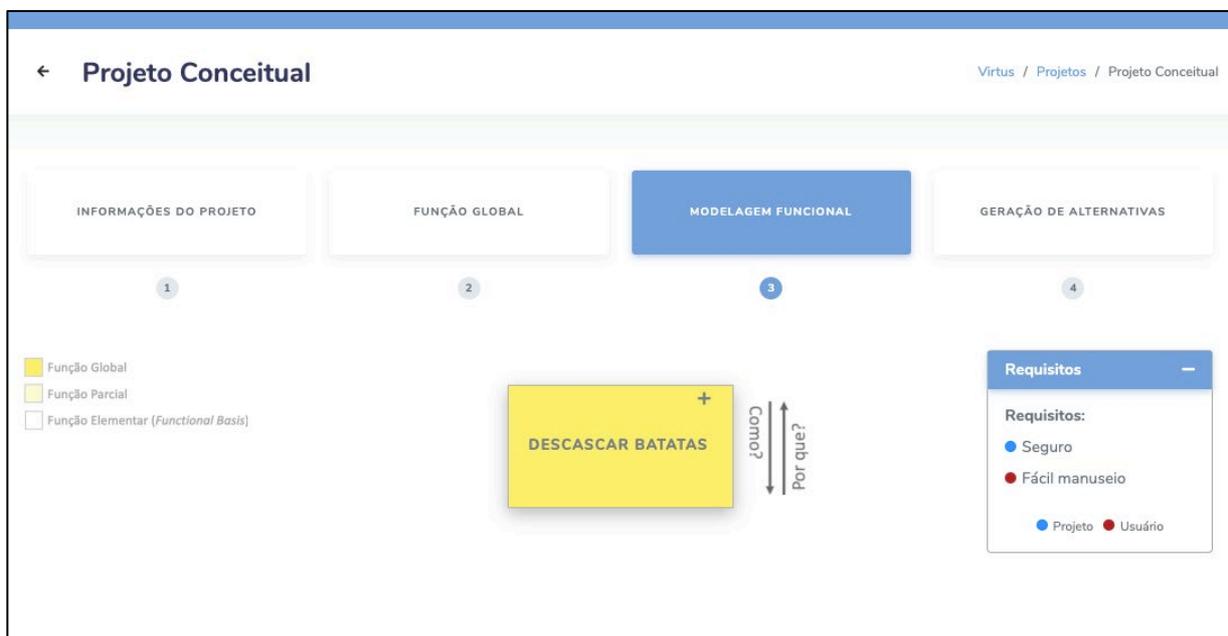
At the bottom of the form, there is a blue button labeled 'Salvar e Avançar →'.

Fonte: (CORREA, 2021).

No próximo módulo, representado na Figura 9, a interface possibilita a criação dinâmica da árvore funcional do produto, correspondente ao passo 2 do método DbA: **(ii) modelar funcionalmente o produto através de uma árvore funcional**. O nó raiz, destacado em amarelo com a função global 'Descascar batatas', é automaticamente criado com base nas informações fornecidas no módulo anterior.

Os requisitos de projeto e de usuário são exibidos para orientar o projetista nas decisões durante a modelagem. À esquerda da tela, uma legenda explica o significado das cores utilizadas para cada tipo de função na estrutura de funções, incluindo função global, parciais e elementares.

Figura 9: Início da modelagem funcional.



Fonte: (CORREA, 2021).

O nó com a função global apresenta o ícone '+' que permite adicionar uma nova função à árvore funcional. Ao clicar neste ícone, um formulário é exibido (Figura 10) com campos para incluir uma nova função. Recomenda-se ao usuário utilizar um verbo e um substantivo para a representação do título da função.

A escolha de utilizar a taxonomia Functional Basis determina se a função será classificada como parcial ou elementar. Apenas as funções elementares podem ser associadas a essa taxonomia. Além disso, há um campo disponível para o projetista adicionar informações complementares sobre a função sendo criada, caso deseje.

Através dos campos 'entrada' e 'saída', o usuário pode especificar as entradas e saídas da função, que podem ser relacionadas a sinais, materiais ou energia. Adicionalmente, o campo 'dependência' possibilita a seleção de outra função da árvore funcional, se houver uma relação entre elas.

Figura 10: Inclusão de uma nova função.

The image shows a software interface for editing a subfunction. The window is titled "Editar subfunção" and contains several input fields:

- Título da Subfunção** (verbo + substantivo): Remover a casca
- Taxonomia** (Functional Basis):  Sim
- Descreva a subfunção**: (empty text area)
- Entrada** (sinal, material ou energia): Batata com casca
- Saída** (sinal, material ou energia): Batata sem casca
- Dependência**: (empty dropdown menu)

At the bottom of the window are "Cancelar" and "Salvar" buttons. On the right side, there is a panel titled "GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS" with a "Requisitos" section showing "Seguro" (Project) and "Fácil manuseio" (User).

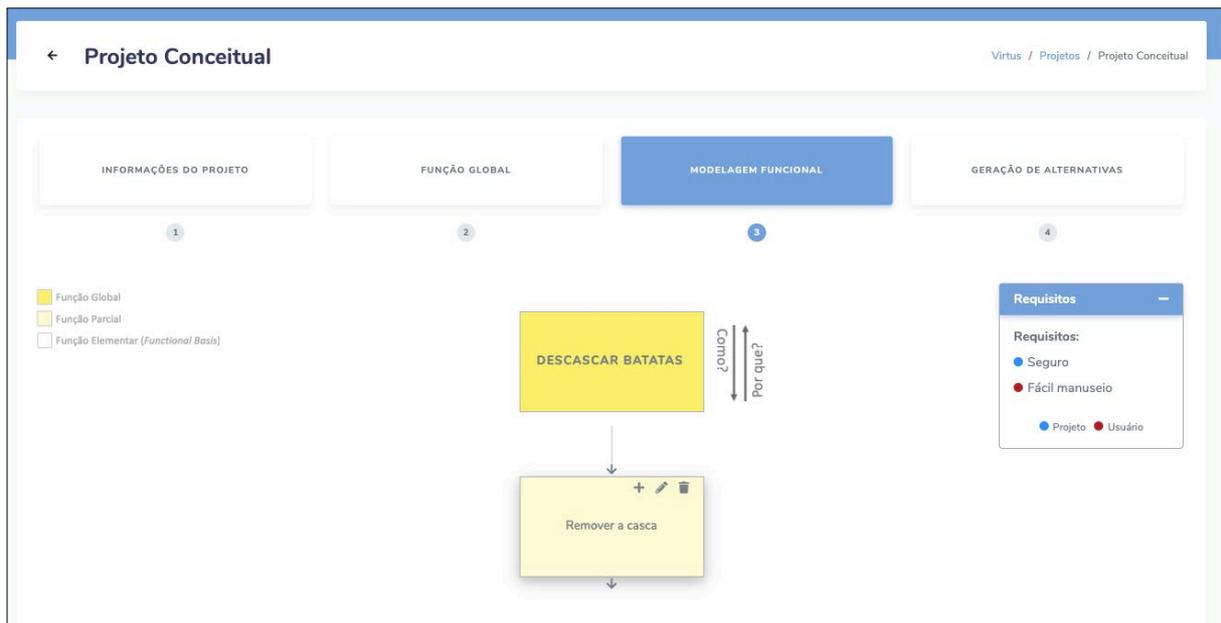
Fonte: (CORREA, 2021).

Ao salvar o formulário, a função é incorporada à árvore funcional (Figura 11). Quando a taxonomia não é utilizada, a função criada é automaticamente classificada como parcial. Esse processo se repete para cada nova função adicionada pelo usuário, resultando na formação de uma estrutura lógica de árvore hierárquica.

Novas funções podem ser criadas a partir de qualquer função existente na árvore funcional, gerando novos elementos que são conectados imediatamente abaixo da estrutura do nó selecionado.

Se desejar, o usuário tem a opção de editar ou excluir qualquer função na árvore funcional. Além disso, a qualquer momento, é possível mover uma função para outra posição na estrutura da árvore. Isso inclui carregar suas subfunções, se houver, e conectá-la a outra função existente, permitindo a reorganização automática da estrutura da árvore funcional.

Figura 11: Função parcial.



Fonte: (CORREA, 2021).

O exemplo apresenta a função global e a primeira função parcial do produto. A próxima função incluída é um desdobramento da função “Remover a casca”.

A Figura 12 apresenta o formulário de inclusão para uma função, utilizando a taxonomia Functional Basis. Para a função elementar 'Cortar a casca da batata', o usuário deve buscar na taxonomia uma correspondência para a 'ação' e o 'objeto da ação'. Este método auxilia na classificação precisa das funções elementares dentro da estrutura da árvore funcional.

O componente de seleção do artefato digital facilita a experiência do usuário ao permitir a navegação por todos os termos da taxonomia. Ele permite buscar ou filtrar pelos itens existentes e seus sinônimos. Ao selecionar um termo, o artefato digital também exibe a descrição e exemplos de aplicação associados ao termo escolhido na taxonomia.

No exemplo dado, o par 'Remover Sólido' é associado ao rótulo 'Cortar a casca da batata'. Ao salvar esta função, o artefato digital registra a conexão entre a função criada pelo usuário e os termos selecionados da taxonomia. Isso permite uma classificação precisa e uma referência clara às definições e exemplos associados na taxonomia.

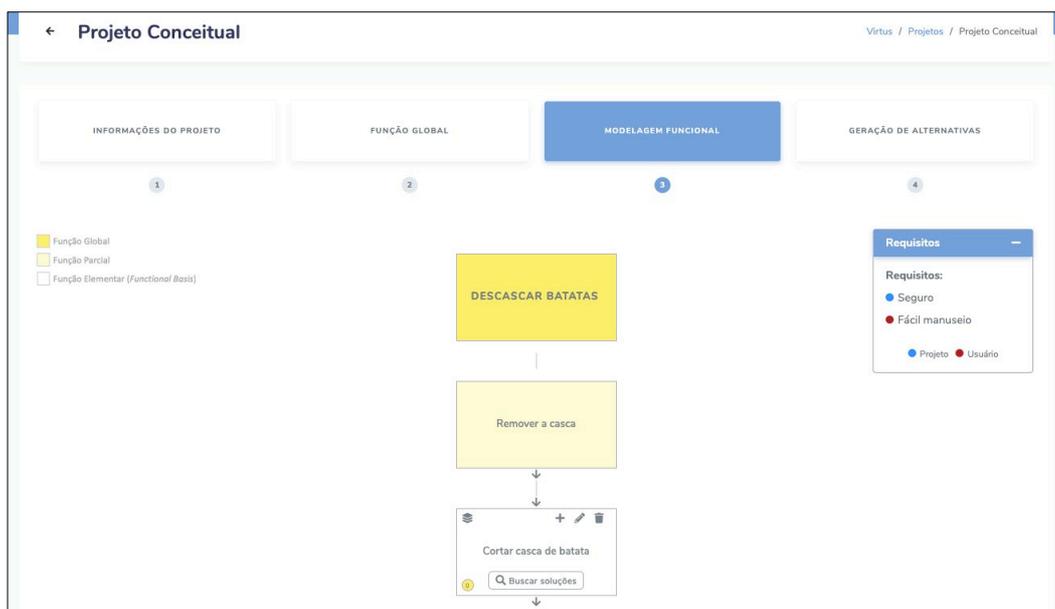
No artefato digital, essa indexação é um dos pontos cruciais utilizados para as estratégias de busca no método DbA. A conexão entre as funções criadas pelo usuário e os termos da taxonomia facilita a organização e recuperação eficiente de informações relevantes durante o processo de desenvolvimento do produto.

Figura 12: Inclusão de função elementar.

Fonte: (CORREA, 2021).

A Figura 13 corresponde ao passo (iii) **identificar as funções elementares que podem ser associadas a um princípio de solução**. No nodo que representa a função elementar 'Cortar casca da batata', o usuário encontra um botão para buscar princípios de solução. A partir deste ponto, o usuário pode continuar a modelagem funcional do produto ou iniciar uma busca específica por princípios de solução para esta função elementar.

Figura 13: Buscar princípios de solução.



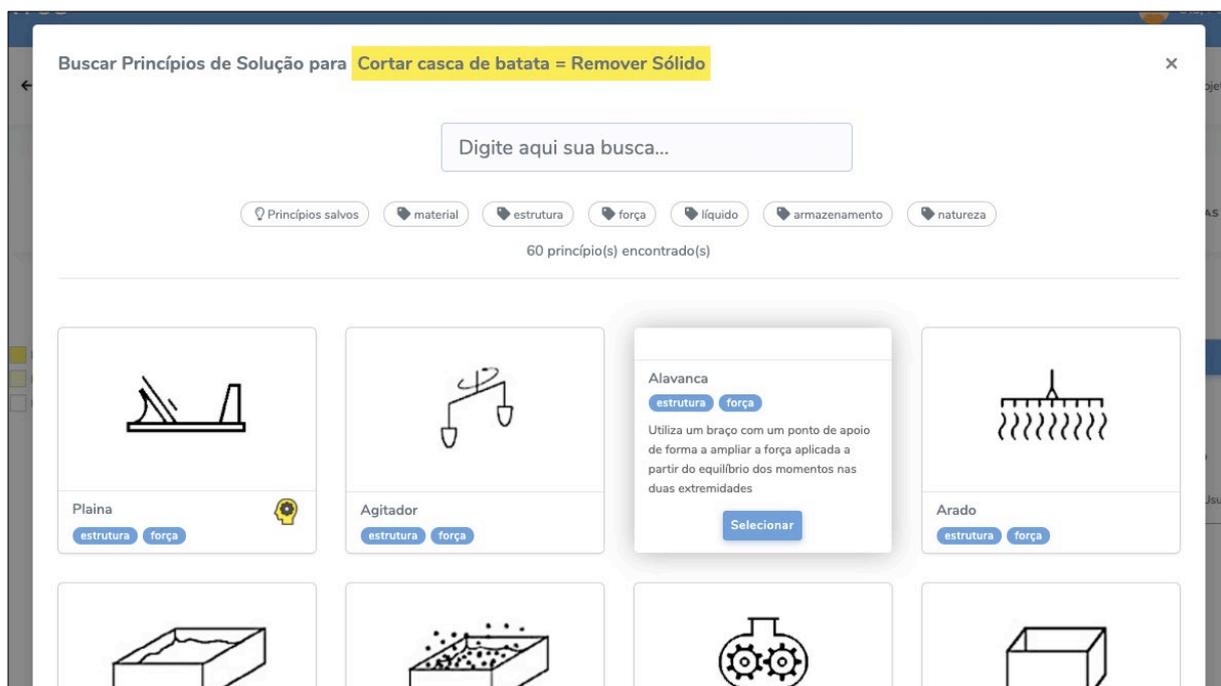
Fonte: (CORREA, 2021).

O artefato digital não influencia nesta decisão, deixando ao critério do usuário escolher a próxima ação. Caso o usuário opte por buscar os princípios de solução, a Figura 14 mostra a interface de busca correspondente ao passo (iv) do método DbA: buscar um ou mais princípios de solução para cada função elementar.

Os princípios de solução cadastrados no artefato digital, juntamente com suas representações visuais, foram baseados nos estudos de Scalice (2003) e de Baxter (2011). Ao exibir a interface de busca, são recuperados todos os princípios de solução cadastrados. O usuário tem a opção de filtrar os itens por palavras-chave, tags pré-definidas ou princípios salvos para a função. Cada filtro aplicado reconstrói dinamicamente a interface, exibindo apenas os princípios que atendem aos critérios de busca informados.

Além disso, o artefato digital recupera possíveis analogias para sugerir ao projetista. Ao selecionar um par de termos na taxonomia que representam a função, o sistema busca em sua base de dados quais princípios de solução foram aplicados à mesma combinação. Se houver ocorrências, esses itens são posicionados no topo da lista e identificados por um ícone que indica uma possível analogia.

Figura 14: Busca de princípios de solução.



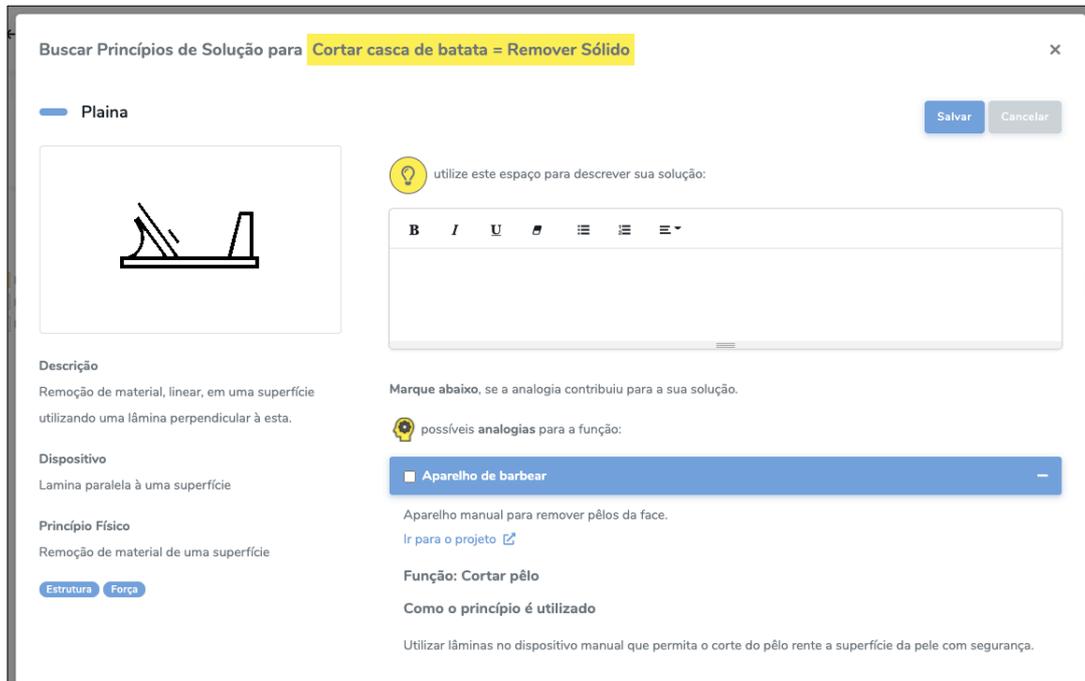
Fonte: (CORREA, 2021).

Na Figura 14, é exemplificado o **passo (v) do método DbA: apresentar princípios de solução e sugerir soluções através de analogias com outros sistemas**. No exemplo mostrado com o primeiro item, a Plaina, o sistema posiciona esse princípio de solução no topo da lista, indicando uma possível analogia.

Ao escolher e selecionar um princípio de solução na lista exibida, o usuário é redirecionado para a interface detalhada do item, conforme ilustrado na Figura 15. À esquerda, são apresentadas informações sobre o funcionamento e a composição do princípio de solução. À direita, há um campo

de texto onde o projetista pode descrever a solução desejada. Abaixo deste campo, caso existam sugestões de analogias, é exibida uma lista de projetos encontrados para inspirar o usuário.

Figura 15: Seleção do princípio de solução.



Fonte: (CORREA, 2021).

No exemplo apresentado na Figura 15, o artefato digital identificou no projeto 'Aparelho de barbear' a aplicação do princípio de solução da 'Plaina' para a função 'Cortar pelo'. Isso demonstra a capacidade do sistema de sugerir soluções com base em analogias entre diferentes sistemas e funções.

O projetista deve avaliar a analogia com base nas informações apresentadas. Caso necessário, há um link para acessar informações detalhadas do projeto relacionado. Durante o processo de análise e raciocínio, se o projetista determinar que a analogia sugerida pode resultar no reuso do conhecimento em um novo contexto, é importante que ele informe o artefato digital sobre essa ocorrência. Para isso, deve-se marcar a caixa de seleção ao lado do nome do projeto, indicando que houve reuso do conhecimento através de uma analogia com um projeto de produto existente.

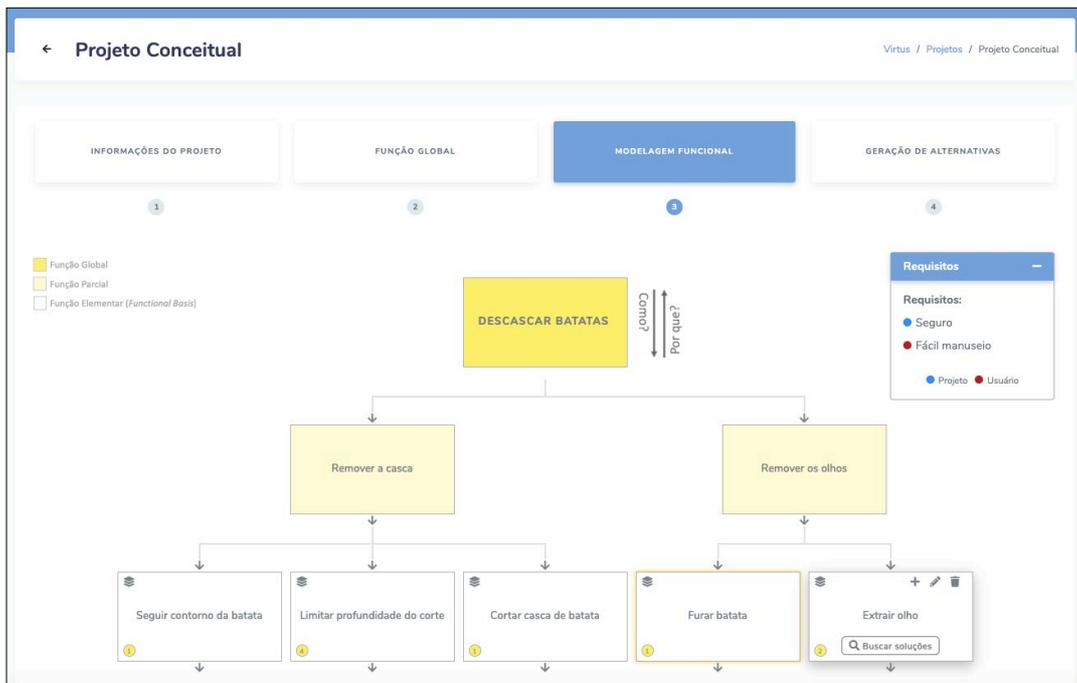
Este processo está relacionado ao passo **(vi) do método DbA: associar um ou mais princípios de solução para cada função elementar e registrar o feedback sobre as analogias sugeridas, quando aplicável.** Durante este passo, o projetista avalia e decide sobre a aplicabilidade dos princípios de solução sugeridos.

Quando o princípio de solução para a função elementar é salvo, o artefato digital registra essa conexão, juntamente com as informações da solução descrita pelo projetista e a possível aplicação das analogias sugeridas. Esta etapa corresponde ao passo **(vii) do método DbA: armazenar combinações para sugerir novas analogias.**

Após salvar o princípio de solução para a função elementar, o sistema retorna à lista de

princípios de solução, destacando o princípio salvo e permitindo ao usuário associar mais princípios à mesma função ou retornar à interface de modelagem funcional. Após realizar as iterações necessárias para as demais funções do produto, o resultado da modelagem funcional concluída para o exemplo apresentado pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16: Modelagem funcional completa.



Fonte: (CORREA, 2021).

As analogias registradas no projeto podem ser visualizadas ao clicar no nó da função global. A Figura 17 mostra a interface com essas informações. A fonte da analogia é representada pelo nome do projeto e a função original, enquanto o alvo indica a função e os termos da taxonomia onde ocorre o reuso do conhecimento.

Figura 17: Analogias do projeto.

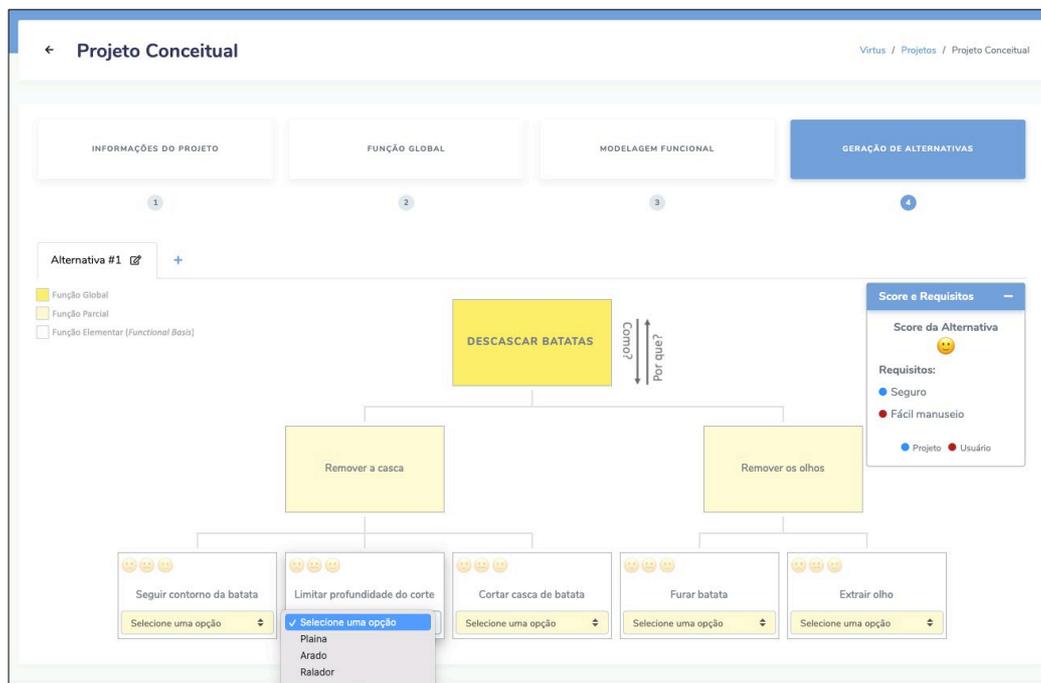


Fonte: (CORREA, 2021).

O último módulo está focado na geração de alternativas. Na Figura 18, a interface do módulo 4 exibe novamente a árvore funcional que foi modelada na etapa anterior. Neste módulo, o projetista cria a primeira alternativa, selecionando para cada função elementar da estrutura funcional um dos princípios previamente escolhidos, com o objetivo de gerar a configuração inicial do produto.

Inspirado no princípio da matriz morfológica, o projetista pode criar quantas alternativas forem necessárias para explorar todas as combinações possíveis e viáveis, atendendo aos requisitos envolvidos. Vale destacar que o artefato não gera automaticamente essas combinações, pois o esforço dos projetistas é crucial para estabelecer as relações entre as informações de projeto e definir a solução final. Nesse contexto, o artefato digital contribui para agilizar o processo e registrar as informações geradas.

Figura 18: Seleção dos princípios de solução para a geração de alternativas.

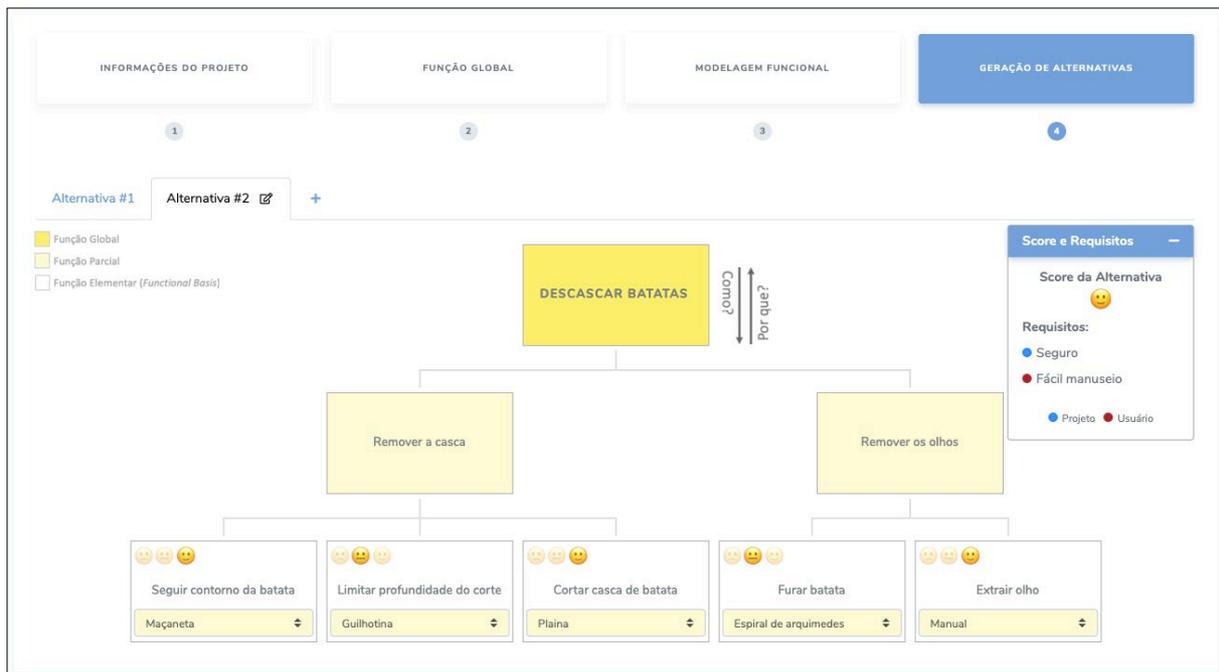


Fonte: (CORREA, 2021).

A Figura 19 ilustra a geração de uma nova alternativa. Cada alternativa é adicionada a uma nova aba do sistema, facilitando a navegação e visualização das diferentes opções. O artefato digital também oferece a funcionalidade de avaliação de cada combinação existente em uma alternativa. Utilizando uma escala de três pesos, representada por ícones, o projetista pode atribuir uma nota que reflete o grau de satisfação da solução em relação aos requisitos de projeto e usuário. O artefato calcula a média geral das notas atribuídas a uma determinada alternativa, embora esse score não determine o resultado final da avaliação. Apesar de a avaliação de alternativas do PDP não estar incluída no escopo desta pesquisa, o registro de uma pré-avaliação nesta etapa pode servir como uma nova entrada valiosa para o desenvolvimento dessa atividade.

A atividade realizada no módulo 4 está relacionada ao último passo do método proposto: **(viii) combinar os princípios de solução selecionados e as funções para gerar uma ou mais alternativas.**

Figura 19: Pré-avaliação das alternativas.



Fonte: (CORREA, 2021).

A demonstração do artefato digital apresentou um exemplo de uso para as atividades previstas na geração de alternativas do PDP. Esta mesma jornada foi apresentada ao grupo de especialistas na etapa de avaliação do artefato. Logo, os resultados obtidos na avaliação podem ser relacionados à apresentação dos passos descritos nesta seção.

#### 4 Considerações Finais

O software desenvolvido visa apoiar os projetistas na tomada de decisões ao longo do processo de projeto. O trabalho de Correa (2021) destacou as características das atividades envolvidas, além das responsabilidades e desafios enfrentados pelos projetistas.

As técnicas já familiares aos projetistas, como a modelagem funcional e a matriz morfológica, foram adaptadas e transferidas para o ambiente digital dentro do contexto do método DbA proposto. O artefato reutilizou essas técnicas para facilitar o exercício projetual e armazenar o conhecimento gerado pelos projetistas em sua base de dados.

Além de reter o conhecimento gerado, essa abordagem permitiu a aplicação do raciocínio por analogia, sugerindo ao projetista soluções encontradas em outros projetos e armazenadas na base de conhecimento, que poderiam ser reutilizadas. Essas soluções são descobertas por meio de regras definidas no artefato e processadas computacionalmente, o que agiliza a recuperação dessas sugestões. Muitas vezes, essas soluções podem não ser óbvias, aumentando a possibilidade de gerar soluções mais criativas e inovadoras.

O fluxo de informações gerado pela interação entre o projetista e o artefato, por meio do cadastro de novos projetos e suas funções, dos princípios de solução, e das associações entre esses elementos e a taxonomia Functional Basis (FB), constitui a base do seu mecanismo de

funcionamento. Esse ambiente depende essencialmente do volume e da qualidade das informações fornecidas pelos usuários para recuperar o conhecimento relevante que permita o reuso. Essa condição indica que, à medida que a base de conhecimento cresce, a ferramenta se torna cada vez mais eficaz em atender ao seu propósito.

Nesse contexto, o método implementado pelo artefato é capaz de atender às necessidades de projetistas com diversos níveis de conhecimento e experiência em atividades de design. A ferramenta oferece suporte tanto para o desenvolvimento de melhorias em produtos existentes quanto para a criação de novos produtos. Além disso, o artefato é eficaz em lidar com produtos físicos de diferentes graus de complexidade. Ele facilita a identificação de subsistemas através das tarefas de decomposição de problemas, o que ajuda a reduzir a complexidade do projeto.

Além disso, é importante destacar as diversas aplicações do artefato tanto na indústria quanto na academia. No contexto educacional, a ferramenta pode ser um recurso valioso para apoiar o ensino de design, proporcionando exemplos de soluções e incentivando boas práticas de projeto, contribuindo para a formação de novos profissionais. Para a indústria, a versatilidade do artefato permite sua adaptação a diferentes nichos de mercado. A implementação em um ambiente real oferece a oportunidade de avaliar sua influência no processo criativo dos indivíduos e na geração de inovações para o desenvolvimento de produtos.

O software apresentado é a primeira iniciativa do projeto Virtus (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010), visando potencializar seu impacto ao integrá-lo em uma plataforma que apoia o ciclo completo do PDP. A facilidade de compartilhamento de informações entre os sistemas do Virtus é um dos principais benefícios. Por exemplo, entradas do artefato digital poderiam ser obtidas a partir das saídas de sistemas utilizados nas etapas anteriores à geração de alternativas. Além disso, as informações geradas pelo artefato digital poderiam ser reaproveitadas por outros sistemas, promovendo uma continuidade e eficiência no fluxo de dados. No entanto, o desenvolvimento da proposta completa do projeto Virtus, com seus demais módulos, ainda é necessário para que essa integração seja plenamente viável, permitindo que todas as etapas do processo de design sejam atendidas e que as informações geradas em cada etapa possam ser reaproveitadas ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto.

## 5 Referências

- BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRYANT, C. R. **A Computational Theory for the Generation of Solutions During Early Conceptual Design**. Columbia, Missouri: University of Missouri-Rolla, 2007.
- CHAKRABARTI, A. et al. Computer-Based Design Synthesis Research: An Overview. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 11, n. 2, p. 021003, 2011.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research**. São Paulo: Bookman, 2014.
- FU, K. et al. Design-by-analogy: experimental evaluation of a functional analogy search methodology for concept generation improvement. **Research in Engineering Design**, v. 26, n. 1, p. 77–95, 2014.
- GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontologies. **Knowledge Acquisition**, v. 5, p. 199–220, 1993.

- GUARINO, N. Formal ontology and information systems. **International Journal of Human-Computer Studies - Special issue: the role of formal ontology in the information technology**, p. 3–15, 1998.
- GUNDUZ, M.; YETISIR, T. A design reuse technology to increase productivity through automated corporate memory system. **Neural Computing and Applications**, 2016.
- HIRTZ, J.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A. A Functional Basis for Engineering Design : Reconciling and Evolving Previous Efforts. **Research in Engineering Design**, v. 13, p. 65–82, 2002.
- JIANG, S. et al. Data-Driven Design-by-Analogy: State of the Art and Future Directions. 2021.
- LINSEY, J. S. **Design-by-analogy and representation in innovative engineering concept generation**. Texas: University of Texas at Austin, 2007.
- LINSEY, J.; TEXAS, A.; MARKMAN, A. WordTrees : A Method for Design-by-Analogy. **American Society for Engineering Education**, 2008.
- MORENO, D. P. et al. Fundamental studies in Design-by-Analogy: A focus on domain-knowledge experts and applications to transactional design problems. **Design Studies**, v. 35, n. 3, p. 232–272, 2014.
- CORREA, P. E. **Artefato digital de apoio à geração de alternativas no processo de design**. Tese (Doutorado em Design)—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design A Systematic Approach**. London: Springer, 1988.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006a.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006b.
- SCALICE, R. K. **Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e beneficiamento de mexilhões**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- SZYKMAN, S. et al. Design Repositories: Engineering Design’s New Knowledge Base. **IEEE Intelligent Systems**, p. 48–55, 2000.
- TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R. P. DA; SILVA, T. L. K. DA. Um Sistema on-Line Para O Design De Produtos. **9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design Anais...**, n. June, 2010.
- ULLMAN, D. **The mechanical design process**. New York, New York, USA: McGraw-Hill, 2010.
- ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 6. ed. New York, New York, USA: McGraw-Hill, 2015.