

Aplicação da biomimética no design deecoinovações tecnológicas de geração de energia renovável

FRANCIANY CRISTINY VENÂNCIO DUGONSKI

CLEONIR TUMELERO
UNIVERSIDADE POSITIVO

CARLOS AUGUSTO FRANÇA VARGAS

Introdução

Os métodos tradicionais de design de produtos não têm conseguido resolver a complexidade tecnológica que envolve o desenvolvimento de ecoinovações, considerando que produtos ecoinovadores devem atingir grau máximo de sustentabilidade (Oliveira, 2013). Nesse sentido, a biomimética é entendida como uma ferramenta para encontrar soluções para as necessidades atuais observando a natureza (Kohsaka et al. 2019).

Problema de Pesquisa e Objetivo

A fronteira do conhecimento tem demonstrado que o ecodesign baseado na biomimética tem potencial para acelerar o desenvolvimento de produtos ecoinovadores, pois a natureza é sempre sustentável e tem potencial de observação e replicabilidade gratuitos. Porém, este é um campo ainda emergente e, portanto, possui potencial de investigação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar por meio da bibliometria as contribuições científicas das publicações sobre biomimética e verificar como o design de ecoinovações de produto contribui para a eficiência energética.

Fundamentação Teórica

Perna, Minutillo, Lavadera e Jannelli, (2018) apontam que a ecoinovação permite alcançar o desenvolvimento sustentável. Assim, as utilizações de fontes de geração de energias renováveis como, por exemplo, o sol e o ar, são notórias para o desenvolvimento de projetos. Assim, vale ressaltar a biomimética, uma ferramenta para encontrar soluções para as necessidades atuais observando a natureza (Kohsaka et al. 2019). É conhecida também como a ciência da vida, pois mantém a harmonia entre a atuação da indústria e a preservação do meio ambiente (Tamayo & Vargas, 2019).

Metodologia

A natureza do estudo é predominantemente descritiva, com nuances exploratórias, pois analisa um fenômeno evitando fazer intervenções. O estudo possui enfoque quali-quantitativo. O primeiro método de pesquisa aplicado foi a bibliometria, que permitiu analisar por meio da base de dados Web of Science a quantidade de artigos, periódicos e estudos, e teve como propósito a organização da literatura sobre o fenômeno investigado. O segundo método utilizado foi o estudo de caso, por meio do estudo de ecoinovações de produto inspiradas na natureza; para tanto, foram utilizados dados secundários.

Análise dos Resultados

Os resultados da revisão sistemática indicaram crescimento contínuo nas publicações sobre biomimética dos últimos cinco anos. Destacam-se a representatividade da China, com relação ao interesse sobre fontes alternativas de energia, e a multidisciplinaridade e interdisciplinaridade nos estudos sobre biomimética. Os estudos de caso permitiram a investigação de três ecoinovações: o WhalePower, para a geração de energia eólica, inspirado na barbatana da baleia Jubarte; a SmartFlower e SunBOT, para a geração de energia fotovoltaica, inspirados na flor e no caule do girassol, respectivamente.

Conclusão

Por meio dos projetos estudados, foi possível concluir que equipamentos construídos para a coleta de energia costumam apresentar como resultado uma maior eficiência que a inovação em seu formato tradicional. Contudo foi verificado que, embora as ecoinovações tenham a natureza como referência, tais tecnologias não podem ser consideradas totalmente limpas, o que permite concluir que uma tecnologia pode ser mais ou menos ecoinovadora, apesar da sua natureza baseada no ecodesign.

Referências Bibliográficas

Kohsaka, R., Fujihira, Y., & Uchiyama, Y. (2019). Biomimetics for business? Industry perceptions and patent application. *Journal of Science and Technology Policy Management*. Perna, A., Minutillo, M., Lavadera, A. L., & Jannelli, E. (2018). Combining plasma gasification and solid oxide cell technologies in advanced power plants for waste to energy and electric energy storage applications. *Waste Management*, 73, 424-438. Tamayo, U., & Vargas, G. (2019). Biomimetic economy: human ecological-economic systems emulating natural ecological systems. *Social Responsibility Journal*.

Palavras Chave

Ecoinovação, Ecodesign de produto, Biomimética

Agradecimento a órgão de fomento

À Universidade Positivo e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aplicação da biomimética no design deecoinovações tecnológicas de geração de energia renovável

1. INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologias poluidoras, além do uso de forma irresponsável dos recursos naturais causam significativos danos ambientais ao planeta Terra, como a perda da biodiversidade animal e vegetal, o aquecimento global, a contaminação das águas e do ar e os eventos extremos (IPCC, 2014).

A insustentabilidade ambiental demanda mudanças nas formas de produção, distribuição e consumo de produtos. Além disso, a degradação ambiental (Carrillo, Pablo Del & Konnola, 2010; Lin et al., 2018), a escassez dos recursos naturais e o aumento populacional mundial comprometem diretamente a qualidade de vida e a capacidade de regeneração do planeta Terra (de Brito & de Oliveira, 2014). Dessa forma, corporações que não possuem tais preocupações podem não encontrar espaço no mercado, pois não conseguirão adaptar suas produções para as necessidades atuais e futuras (França et al., 2017). Tal contexto reforça a necessidade de transformações sustentáveis que promovam o cuidado com o meio ambiente e minimizem as desigualdades sociais (Jaca, Prieto-Sandovall, Psomas & Ormazabal, 2018).

Empresas que buscam se posicionar como sustentáveis precisam adaptar seus processos e produtos, para assim adotarem ecoinovações capazes de viabilizar o uso racional de recursos (Sala & Castellani, 2011). Sendo a ecoinovação a apropriação, fusão, produção, processo, serviço, ou gestão que causem menor impacto ambiental se comparado às alternativas similares; e que sejam inéditos ao meio nas quais serão inseridos (Kemp & Pearson, 2007). Por ser um conceito emergente, a ecoinovação se apresenta como uma fronteira tecnológica e científica, principalmente, em decorrência da inexperiência das organizações e pela ausência de normas de padronização e mensuração do desempenho ambiental de produtos e processos (De Marchi, 2012).

A complexidade do desenvolvimento tecnológico de ecoinovações inicia com o design, uma vez que um conjunto de indicadores de sustentabilidade, incluindo o ciclo de vida do produto, devem ser considerados *a priori* (Van Der Ryn & Cowan, 1996). Nesse contexto, um importante método para o desenvolvimento de ecoinovações é a inspiração na natureza, servindo como um repositório de experiências, conhecimentos e informações da vida natural. Sendo, portanto, relevante o seu estudo, dado o seu potencial de conservação dos recursos naturais e clima do Planeta (De Sá & Viana, 2020). A metodologia que consiste em aprender com a natureza suas formas de produção e autopreservação, em busca de soluções para as necessidades atuais do planeta é nomeada biomimética (Kohsaka, Fujihira & Uchiyama, 2019).

A biomimética auxilia o design, pois a harmonia das proporções e a matemática das construções fazem parte da natureza e podem inspirar os designers e seus produtos, transmitindo assim os princípios da funcionalidade, estética e economia adquiridos por intermédio do meio ambiente (Soares, 2008). Em decorrência da preocupação ambiental demonstrada pelo processo, o design pode ser nomeado também como ecodesign, conceito que segundo a COM 68 (2001) é constituído considerando todas as etapas do produto, desde a sua concepção até o descarte final, aplicando uma abordagem sistemática. O ecodesign tem como propósito a minimização do impacto ambiental em todo o ciclo de vida do produto, considerando aspectos de qualidade, requisitos do design e satisfação do cliente de forma integrada (Pinheiro, Jugend & Demattê Filho, 2018).

Contudo, percebe-se na literatura uma lacuna quanto ao estudo do design de ecoinovações tecnológicas de produto. Muitos produtos ecoinovadores falham no cumprimento de indicadores de sustentabilidade porque seus designs não consideram aspectos sistêmicos do impacto do produto no Planeta a longo prazo (Hofstra & Huisingh, 2014).

Ademais, métodos tradicionais de design não têm conseguido resolver a complexidade tecnológica que envolve o desenvolvimento deecoinovações, considerando que produtos ecoinovadores devem atingir grau máximo de sustentabilidade (Oliveira, 2013). Há indícios de que o ecodesign baseado na biomimética tem potencial de acelerar o desenvolvimento de produtos ecoinovadores, uma vez que a experiência da natureza, sempre sustentável, pode ser observada e replicada, podendo eliminar custos tradicionais de P&D (Hofstra & Huisingh, 2014).

Observou-se, neste sentido, que a aplicação da biomimética no ecodesign deecoinovações tecnológicas é um campo emergente que apresenta oportunidades de investigação (Tumelero, Sbragia & Evans, 2019). Complementarmente, observa-se que ecoinovações possuem a importante missão de apoiar a substituição de fontes de energias fósseis por fontes renováveis (Horbach e Rammer, 2018), o que sugere oportunidades de pesquisa.

Diante do exposto, entende-se a relevância de estudar a biomimética enquanto metodologia para o desenvolvimento deecoinovações tecnológicas em geração de energia renovável e de responder a seguinte pergunta de pesquisa: *“Como o design deecoinovações tecnológicas em geração de energia renovável pode ser inspirado na natureza?”*. Os objetivos desta pesquisa são: (i). Analisar por meio da bibliometria as contribuições científicas das publicações sobre biomimética; (ii). Verificar como o design deecoinovações de produto contribui para a eficiência energética.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Ecoinovação

Ecoinovação tem sido estudada por alguns outros autores, dentre os quais, Kemp e Pearson (2007), que entendem ecoinovação como uma novidade ao meio em que está sendo inserida, e que pode ocorrer na forma de produto, serviço ou gestão. Ecoinovações têm como propósito principal reduzir os impactos ambientais da organização. Já a Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD (2009), enfatiza que a ecoinovação reduz o impacto ambiental, contudo, o resultado é alcançado de forma intencional ou não. Entende, também, que a ecoinovação consegue atingir diversos atores, chegando a fazer mudanças institucionais e sociais.

As ecoinovações não ocorrem de uma única forma, conforme apontado por Eco-Innovation Observatory - EIO (2012), e podem ser encontradas de seis formas distintas, sendo elas: (I). Ecoinovações Organizacionais: ações vinculadas a novas formas de gestão. Portanto, projetos de formação, programas de ecodesign e iniciativas que visem resultados ecoinovadores; (II). Ecoinovações de Processo: ações que tem como objetivo a eficiência na utilização dos recursos naturais. Para tanto, possui medidas de recuperação de produções em estado de pós-uso em busca de reduzir os impactos ambientais; (III). Ecoinovações de Produto: ações com o objetivo do desenvolvimento de produtos. Assim, pensa-se em todo o ciclo de vida do produto, planejando a reparação, reuso e reciclagem. (IV). Ecoinovações de Marketing: ações que tem como objetivo divulgar e conscientizar o consumidor. Para tanto, se utiliza do ecodesign, por meio de rótulos e embalagens recicláveis. (V). Ecoinovações Sociais: ações que acompanham as mudanças sociais e incentivam a conscientização dos clientes; e (VI). Ecoinovações de Sistema: ações que tenham como resultado o alcance da sociedade em todos os seus níveis, para tanto, é um tipo de ecoinovação de atinge todos os outros tipos de ecoinovações já mencionados.

Koellner et al., (2007) destacam a importância da ecoinovação a partir da necessidade de uma consciência organizacional, a qual busque formas de produção que evitem o

desperdício e permitam a reciclabilidade e reutilização, para assim fechar o ciclo de vida do produto, baseado nos princípios de reduzir, reutilizar e reciclar (3 Rs). As ações ecoinovadoras permitem o desenvolvimento de novos modelos de negócios, formas de emprego e, como consequência permitem o crescimento econômico. A produção baseada nos 3 Rs gera eficiência na utilização dos recursos, o que reduz o desperdício e alcança economia na produção. Assim, é possível a organização se posicionar à frente de seus concorrentes (Kiefer, Del Rio González & Carrillo-Hermosilla, 2019)

Jesus Pacheco et al. (2017), apontam que um importante facilitador para a implementação de ecoinovações é a preocupação com a manutenção da vida humana. Dessa forma, visa-se gerar menor impacto ao meio ambiente em busca de que as gerações futuras tenham acesso aos recursos naturais e qualidade de vida. Outro aspecto relevante é o fator econômico, pois conforme apresenta Shrivastava (1995) a implementação de ecoinovação demonstra resultados financeiros satisfatórios, o que serve de estímulo para as organizações.

Dessa forma, empresas que tenham maior impacto ambiental por suas ações, ficam mais propensas a aplicarem medidas inovadoras com apelo ambiental. Na mesma linha, Andersen e Foxon (2009) enfatizam que as ecoinovações tem como consequência a redução dos impactos ambientais, assim, criam valor de mercado para a organização, por meio de produtos e processos que fazem uso de tecnologias limpas. Perna, Minutillo, Lavadera e Jannelli, (2018) apontam que a ecoinovação permite alcançar o desenvolvimento sustentável. Assim, as utilizações de fontes de geração de energias renováveis como, por exemplo, o sol e o ar, são notórias para o desenvolvimento de projetos.

Hofstra e Huisingh (2014) destacam que as ecoinovações ainda estão vinculadas ao modelo tradicional de inovação antropocêntrica, que implica no desenvolvimento do produto ou serviço, concebidos tendo como referência a valorização do fator humano e princípios organizacionais. Contudo, as empresas podem encontrar novas fontes e ferramentas para o desenvolvimento de seus produtos tendo como referência a natureza, conforme trataremos na sequência.

2.2. Biomimética e Design

A biomimética é entendida como uma ferramenta para encontrar soluções para as necessidades atuais observando a natureza (Kohsaka et al. 2019). É conhecida também como a ciência da vida, pois é uma maneira de manter o desenvolvimento econômico por meio das produções, porém mantendo harmonia entre a atuação da indústria e a preservação do meio ambiente (Tamayo & Vargas, 2019). Bhushan (2009) conceitua a biomimética como um design ou uma adaptação que são biologicamente inspirados na natureza, uma forma de imitar a biologia ou a natureza.

Segundo Benyus (1997), para aprendermos com a natureza precisamos olhar para ela de três formas: (I) Modelo: por meio da biomimética é possível estudar os modelos da natureza e todas as suas formas, processos, sistemas e estratégias e, assim, aplicá-los na resolução de problemas da sociedade. (II) Medida: a natureza tem 3,8 bilhões de anos de evolução e, em decorrência disso, aprendeu como se desenvolve, o que tem durabilidade, o que é apropriado e o que funciona. Assim, usar a natureza como medida, implica em avaliar as inovações por meio da observação da natureza e corrigí-las caso necessário. (III) Mentora: por meio da biomimética é possível aprender com a natureza, contudo, isso não ocorre do ponto de vista do que é possível extrair da natureza, mas o que é possível aprender a partir da evolução natural.

No âmbito do design, conforme destacado por Detanico, Teixeira e Da Silva (2010), existe a necessidade da criatividade para a ideação, fontes de ideias para a solução de problemas identificados. Os quais podem surgir em formato de produto, processo ou apenas uma ideia criativa. Nesse cenário, a biomimética se destaca como método criativo. O

propósito é decodificar geometrias e funcionamentos que tenham como resultado um menor gasto de energia, ou como menciona Zari (2010), a biomimética se propõe a tradução de organismos vivos ou ecossistemas para o contexto humano. Contudo, nem sempre esses designs são prontamente semelhantes ao ecossistema que o influenciou, mas se busca ter a mesma funcionalidade, ou seja, o propósito é ir além do aspecto físico.

Esse olhar para a natureza e a busca dos seres humanos por aprender com ela, servem como uma ajuda para a manutenção da vida humana e garantia de um futuro sustentável. Pois, a natureza está em evolução constante baseada nas informações arquivadas pelos sistemas vivos, as quais são codificadas em seus genes e repassadas para outras gerações. Por esse motivo entende-se que a natureza seja fonte relevante para ideias de projeto, quando o propósito são projetos com menor ou nenhum impacto ambiental (Bar-Cohen, 2006).

Benyus (1997) classifica a biomimética em três níveis. O primeiro é denominado superficial, é o nível onde se esforça para imitar a natureza, porém não se desenvolve produtos sustentáveis. O segundo nível é mais holístico, pois representa a mimetização de um processo natural. Já o terceiro nível, conhecido como profundo ou holístico, baseia-se na natureza e se desenvolve produtos que não agridem ao meio ambiente, para tanto é pensando em todo o sistema. Por meio do terceiro nível da biomimética é possível alcançar o design ecológico, princípio básico da biomimética, que consiste em pensar em todo o ciclo de vida do produto, desde a sua ideação até o descarte final (Van Der Ryn & Cowan, 1996), conhecido também como ecodesign (Davidov, 2019).

Davidov (2019) destacou que a visão holística da biomimética ganhou legitimidade no ano de 1990, quando o conceito foi difundido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos como uma ferramenta para alcançar a proteção ao meio ambiente e também o crescimento econômico. A natureza serve aqui por meio de um meta-recursos, uma biblioteca de possíveis soluções para os problemas humanos de onde se extrai as informações e conhecimentos necessários para as produções.

Dessa forma, entende-se a importância da biomimética para o desenvolvimento de designs de produto, a conexão com a natureza permite a criação de produtos que causem pouco ou nenhum malefício ao meio ambiente e garantam que a ação humana não afete a qualidade de vida das gerações futuras.

3. METODOLOGIA

O estudo possui enfoque quali-quantitativo. Qualitativo, pois visa entender em profundidade o fenômeno do design deecoinovações inspiradas pela natureza (Bardin, 1977, 2004), e quantitativo, por fazer uma análise bibliométrica das publicações sobre a temática deste estudo.

Entendeu-se a importância de se organizar a literatura quando identificada uma lacuna, conforme indicado por Gil (2010). Sendo assim, o projeto tem como proposta uma pesquisa de natureza básica, que consiste em gerar conhecimento a ciência, porém sem aplicação prática. Para tanto se utilizou da bibliometria, que segundo Araújo (2006), consiste em observar os dados bibliométricos por meio do contexto sócio histórico ao que a pesquisa está inserida. Utilizou-se, conforme conceituado por Naseer e Mahmood (2009), da bibliometria, que consiste na análise da quantidade de artigos, periódicos e estudos por ano.

O segundo método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso, que segundo Yin (2001) consiste na observação do fenômeno no ambiente em que está inserido, por meio da observação de projetos de design deecoinovações de produto inspirados pela natureza, para tanto serão utilizados dados secundários. Entendendo por dados secundários aqueles que não foram de autoria do pesquisador (GODOY, 1995).

Para se alcançar os objetivos da pesquisa, algumas restrições foram tomadas como direcionadores da pesquisa, a saber: (I) Documentos utilizados: Artigos. (II) Período: Foram

estudadas as publicações dos últimos cinco anos completos (2016-2020). (III) Base de dados: Web of Science. (IV) Palavras-Chave: Para a delimitação das palavras-chave foram observadas as temáticas que constituiriam o estudo, nesse caso: Ecoinovação, Biomimética e Design.

Para a escolha das unidades de análise para o estudo de caso foram adotados os seguintes critérios: (I) Apresentar três indicadores de ecoinovação de produto para ser considerada uma ecoinovação; (II) Ser um projeto que teve inspiração na natureza para o desenvolvimento do seu design; e (III) Ser um projeto referência nas práticas sustentáveis.

3.1. Técnica de Coleta e Análise dos Dados

O resultado dos 1.279 estudos obtidos foi verificado por meio das Clarivate Analytics, empresa que trabalha em conjunto com a Web of Science para análise e refinamento da ferramenta de busca (Analytics, s.d.). Por meio dela é possível fazer diversas análises como publicações por localização, citações, agência financiadora, autores, ano de publicação, tipo de documento, dentre outros.

Após essas primeiras análises, os dados completos dos artigos foram exportados em formato “sem formatação”, para posterior análise do campo pelo Citespace – Versão 5.7. R5. Para tanto, será mantido o período de tempo de 2016 a 2020. Os documentos foram verificados por periódico, país e referências. E seguido a sugestão de Chen (2014), foi utilizado o critério de seleção de nó, que consiste na maneira da amostragem de registro, o Top N *per slice* que selecionou 50 artigos em destaque da categoria solicitada.

Com tal procedimento se pretendeu organizar a literatura, verificar as localidades mais publicadas, periódicos, autores, períodos e áreas. Os principais artigos tiveram seus resumos, títulos e palavras-chaves lidos para a filtragem dos estudos julgados pertinentes ao primeiro objetivo desta pesquisa. Posteriormente, pretendeu-se selecionar três projetos considerados com design ecoinovador, esses projetos tiveram dados de websites oficiais e relatórios coletados. Esses documentos tiveram seus conteúdos lidos e tabulados de acordo à pertinência para o presente estudo.

4. RESULTADOS

O presente estudo teve como primeiro objetivo o de “Analisar por meio da bibliometria as contribuições científicas das publicações sobre biomimética”. Assim, foi estruturado pensando nos níveis das informações, iniciando pela evolução das publicações, passando pelas áreas e países que mais trabalham a temática, demonstrando sua interdisciplinaridade e multidisciplinaridade, os periódicos com maior número de publicações, as temáticas que são frequentemente citadas nos estudos e por fim seus principais autores.

Os dados demonstram que, no período de 2016 a 2020, o ano de maior publicação de artigos sobre o tema ocorreu em 2020, quando foram publicados 307 artigos, atrás dos anos de 2019, com 287 artigos, e do ano de 2017, com 244 artigos. Observa-se um crescimento contínuo no interesse pelo estudo interdisciplinar da biomimética, uma vez que a sustentabilidade das formas de produção também vem aumentando, em decorrência da escassez dos recursos naturais e do aumento do consumo populacional.

Por meio dos resultados foi possível notar que a biomimética é multidisciplinar, envolve diferentes áreas, campos, e o seu desenvolvimento, como funções biológicas, estruturais, ou mesmo os princípios dos elementos naturais. Para tanto, pesquisadores das áreas de biologia, física, química, dentre outras, se reúnem para o desenvolvimento de artigos científicos, que podem resultar em projetos e fabricação de produtos para uso comercial (Bhushan, 2009).

É possível perceber, também, publicações em diversas regiões do mundo, a exemplo de países como Estados Unidos, China, Itália, França e Índia. Contudo, percebe-se uma

considerável produção sobreecoinovações em países asiáticos em desenvolvimento, especialmente a China. Uma possível explicação consiste nas preocupações ambientais desses países, o que pode ser percebido pela quantidade de patentes solicitadas para inovações ambientais, conforme destacado no estudo de Kohsaka, Fujihira, & Uchiyama (2019).

A interdisciplinaridade e a multidisciplinaridade podem ser observadas também na Figura 2, abaixo, pois o mapa duplo de sobreposição demonstra que os estudos que já eram de áreas variadas, citaram áreas ainda mais amplas. No caso abaixo, os estudos utilizados para a presente pesquisa estão com suas temáticas representadas ao lado esquerdo e utilizaram como referência estudos que trabalhavam as temáticas que se encontram ao lado direito. A relação das citações utilizadas pode ser observada pela linha vermelha que direciona as temáticas dos artigos que fizeram a citação, com os artigos que foram citados. Como, por exemplo, química, física, assuntos da Terra e geologia.



Figura 1 - Mapa duplo de sobreposição. Fonte: Citespace – Versão 5.7. R5

Observa-se que o Journal of Cleaner Production é o periódico com maior enfoque com estudos sobre a área e é reconhecido pela qualidade pelos seus pesquisadores, o que justifica a quantidade de publicações.

O segundo periódico com maior quantidade de publicação sobre a temática proposta é o Sustainability, com 41 estudos. Como o nome sugere, o periódico possui enfoque em pesquisas sobre a sustentabilidade e seus fatores econômico, social e ambiental. A posição de terceiro periódico com a maior quantidade de publicações foi dividida entre o periódico ACS Applied Materials Interfaces, que atua em áreas como química, engenharia, física e biologia, e o periódico Biomimetics, que possui interesse exclusivo em pesquisas sobre princípios e funções inspiradas na natureza e sua evolução, ambos com 14 artigos cada.

Com base nos dados da Citespace foi possível verificar que os estudos de Bovea e Pérez-Belis (2012); Rossi, Germani e Zamagni (2016); Pigosso, Rozenfeld e Mcaloon (2013); Dekoninck et al. (2016) foram os que receberam maior número de citações e que todos esses estudos foram publicados no periódico Journal of Cleaner Production, o qual possui enfoque em pesquisas sobre produções mais limpas, meio ambiente e sustentabilidade.

Em relação às temáticas, as informações apontaram que os artigos dos últimos cinco anos estão focados na integração do ecodesign, na inspiração para o design de produtos, seguido pela temática voltada à inovação para o alcance da economia circular, o que pode ser explicado pelo fato da ecoinovação ser considerada uma ferramenta para o alcance da

economia circular (Dugonski et al., 2020; Frone & Frone, 2017). Como se pode notar na figura 2 abaixo:



Figura 2 - Artigos por temática. Fonte: Citespace – Versão 5.7. R5

Já em relação aos autores, o Citespace demonstrou que os autores com maior número de citações em artigos que trabalham o ecodesign inspirado pela natureza com resultadosecoinovadores foram Fabrice Mathieux, Dominique Millet e Daniela D. A. Pigosso.

Assim, buscou-se entender um pouco mais sobre os três principais pesquisadores, levando-nos a considerar que os engenheiros continuam sendo a classe com maior interesse por design de produtos ecoinovadores, desenvolvidos a partir da biomimética. Como se pode notar nos breves currículos abaixo:

- Fabrice Mathieux é graduado em engenharia mecânica, com mestrado em gestão de resíduos e avaliação do ciclo de vida e doutorado em engenharia industrial, sua tese teve como temática o design para a reciclagem de energia eólica (Cewaste, 2020).
- Dominique Millet possui doutorado em engenharia industrial, sua tese teve como temática a assistência ao design para limitar os impactos gerados por produtos ao longo de seu ciclo de vida, seu objetivo como pesquisador são temáticas voltadas a ferramentas ambientais que melhorem o desempenho ambiental de produtos, considerando seus materiais e energia consumida para a produção (Cewaste, s.d.).
- Daniela D. A. Pigosso é graduada em engenharia ambiental e doutora em Engenharia da Produção, suas pesquisas tem como principal interesse temáticas como ecodesign, ecoinovação, gestão do processo de desenvolvimento de produtos, gestão do ciclo de vida de produtos, desenvolvimento de PSS (sistemas de produto-serviço), modelos de maturidade, métodos de transformação e melhoria de processos no contexto da abordagem BPM (Business Process Management) (Tecnológico, 2013).

Com base no panorama geral do que o mundo científico tem investigado em ecodesign inspirado na natureza aplicado a ecoinovações de produto, no tópico seguinte serão investigados projetos ecoinovadores de geração de energia renovável que apresentam ecodesign.

Para atender ao segundo objetivo de “Verificar como o design de ecoinovações de produto contribui para a eficiência energética”, foram escolhidos três projetos de geração de energia renovável inspirados na natureza. Os projetos de energia renovável foram escolhidos tendo em vista a oportunidade científica de estudar novas fontes de geração de energia, o que

é significativo diante do aumento populacional atualmente vivido. Sendo, portanto, projetos relevantes para a sociedade atual e futura.

Para a escolha dos projetos, foi avaliado se os mesmos atendiam, no mínimo, três indicadores deecoinovação de produto, para que assim fossem entendidos como projetos ecoinovadores. Assim, foram identificados os indicadores construção, pois os desenvolvedores buscaram aplicar estruturas mínimas, se comparados a geradores de energia tradicionais; apresentando também maior eficiência, os três projetos demonstraram conseguir capturar mais energia de fontes renováveis do que outros geradores; e bioinspiração, onde todos os projetos tiveram como referência algum elemento da natureza para o seu desenvolvimento, sendo o girassol no caso do SmartFlower e do SunBOT e as nadadeiras da baleia Jubarte no caso do WhalePower.

Na sequência serão apresentados os três projetos que serviram de evidências para o atendimento do Objetivo dois da presente pesquisa, sendo eles o SmartFlower, o WhalePower (Wind Turbines) e o SunBOT.

- A SmartFlower é um produto de origem austríaca, que busca produzir energia renovável tanto para as empresas quanto para as organizações, baseada nos girassóis, que se abrem e se fecham e que fazem o movimento de busca da luz solar natural. A SmartFlower faz a conversão de luminosidade solar em energia limpa. A estrutura se fecha ao detectar a possibilidade de ventanias ou temporais, uma forma de autoproteção, observando tratar-se de uma estrutura leve e frágil. A SmartFlower se movimenta ao longo do dia na direção do Sol para a captação de luminosidade, produzindo, assim, 40% mais energia do que os painéis tradicionais (Smartflower, 2021). Além da replicação do movimento diário do girassol, é possível notar a inspiração das pétalas do girassol no design da SmartFlower.

- A WhalePower nasceu com o propósito de reduzir o atrito e a instabilidade dos ventos para aumentar o silêncio e a eficiência energética em geração eólica. A tecnologia foi inspirada nas nadadeiras das baleias Jubarte, as quais apresentam uma protuberância na parte da frente, os chamados tubérculos, que permitem maior agilidade das baleias em sua movimentação na água (Miles, 2017).

O projeto foi desenvolvido pelo biólogo Frank Fish da West Chester University, quem descobriu a aerodinâmica das nadadeiras, e em conjunto com os seus colegas, o engenheiro mecânico e aeroespacial Philip Watts e o cineasta e empresário Stephen Dewar, fundaram a empresa WhalePower, um centro de tecnologia com sede no Canadá. Frank reconhece que só foi possível esse desenvolvimento porque a natureza trabalhou muito anteriormente (Office, 2020). Composto por um ventilador de alto volume e baixa velocidade (HVLS) reversível com 16 pés de diâmetro e 1,5 HP, o que o permite produzir 182.173 pés cúbicos/minuto (CFM). Usar lâminas em formato de tubérculos permite que o ar passe mais facilmente pelas bordas frontais, evitando a resistência do vento o que gera mais eficiência na produção de energia (Group, [s.d.]).

- O SunBOT é um sistema que tem origem em seu rastreador biomimético omnidirecional semelhante ao girassol, baseado em polímeros nano estruturados responsivos a estímulos que podem apontar e se alinhar em direção à luz e que podem ocorrer em uma ampla faixa de temperatura. Essa movimentação natural das plantas de realinhamento em busca da coleta da luz solar é denominada fototropismo e a sua replicação em robôs permite uma coleta com um aumento de 400% na captação se comparado a materiais não tropísticos, ou seja, que não respondem aos estímulos da luz. Pesquisadores da Universidade da Califórnia e da Universidade Estadual do Arizona notaram essa habilidade do girassol e replicaram com nanotecnologia. O sistema simula a forma como o girassol rastreia a luz solar, utilizando como referência as hastes presentes no caule, que se curvam em direção ao sol (estímulo) evitando a região sombreada, o sistema utiliza um material macio, flexível e fototermoresponsivos (Qian, et al., 2019). Com isso o painel composto por SunBoats alcança

a eficiência de 90% se comparado a um painel de tela plana tradicional que alcança a eficiência de 24% (Files, 2019).

Além da eficiência gerada pela inspiração na natureza, a referência pode ser claramente percebida também pelo design. Conforme figuras 3, 4 e 5 abaixo:



Figura 3 - SmartFlower
Fonte: Earthava (n.d.)



Figura 5 - Wind Turbines
Fonte: Whalepower (n.d)



Figura 4 – SunBOT
Fonte: Qian et al. (2019)

A rede da Figura 6, apresentada abaixo, é composta por seis códigos que demonstram como as organizações se baseiam na natureza e utilizam a biomimética para o desenvolvimento de equipamentos para a geração de energia, encontrando na natureza uma fonte de resposta para alcançarem maior eficiência na geração de energia. A rede destaca os três projetos anteriormente apresentados, que utilizaram a natureza como fonte de inspiração, conforme pode se observar a seguir:

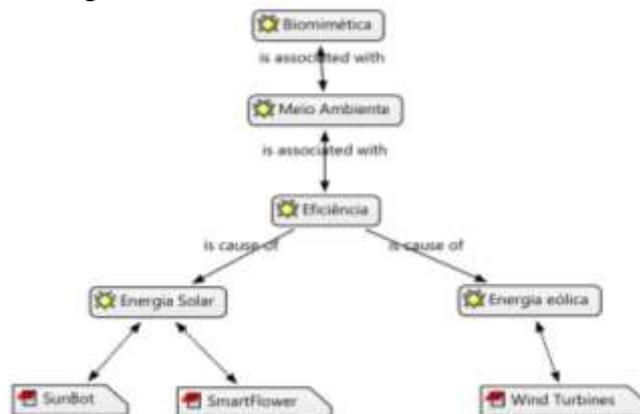


Figura 6 - Biomimética e Fontes de Energia. Fonte – Dados da Pesquisa

Os dados demonstraram que as empresas em busca de fontes de inspiração para alcançar eficiência na geração de energia se basearam no meio ambiente, observaram suas características e como em sua evolução encontrou soluções para os problemas.

No caso daecoinovação **WhalePower** o biólogo Frank Fiz se baseou no seu conhecimento prévio sobre os animais para o desenvolvimento do produto. Ele notou como as baleias Jubarte, mesmo sendo um animal com o peso semelhante a um caminhão, conseguiam se mover rapidamente nas águas, gerando inclusive pouco barulho, se comparado aos outros animais. Assim, ele pensou em como aplicar tal conhecimento, o que foi possível com o apoio do engenheiro mecânico Philip Watts, que em prontidão notou a possibilidade de aplicar esse potencial contido nas nadadeiras da Jubarte nas pás de geradores de energia eólica. Conforme mencionado por Philip Watts:

“Eu [Philip Watts] já estava trabalhando com biomecânica, e então eu entendi a importância da biomimética sobre como desenhar ideias de engenharia a partir da evolução”.

“E quando Frank compartilhou que as baleias Jubarte eram as únicas baleias que tinham bordas de ataque irregulares em suas nadadeiras, eu percebi imediatamente

que isso poderia ter algumas consequências importantes de engenharia.” (OFFICE, 2020).

Assim, o engenheiro notou que os tubérculos aumentaram a sustentação e reduziram o arrasto das pás. Dessa forma, os pesquisadores entenderam os benefícios possíveis pela inserção dos tubérculos e obtiveram como resultado maior eficiência na geração de energia se comparado aos outros geradores. Por meio dessa alteração em sua estrutura, da inserção dos tubérculos, foi possível também manter maior estabilidade, mesmo com ventos mais fracos, considerando assim o seu diferencial, pois com ventos fortes todos os geradores são capazes de gerar energia e reduzir os ruídos, especialmente pelas grandes vibrações geradas por ventos fortes. Como pode se notar no citado por Whalepower (s.d): “Nas condições do mundo real o seu desempenho parece ser mais estável e ágil do que qualquer outra turbina na história. Quando uma rajada sopra através, eles aceleram, quase instantaneamente, sem ruído ou outros sinais de instabilidade”.

O projeto SmartFlower também busca a eficiência energética baseado na natureza. Nesse caso, a referência foram os girassóis, e como essas flores buscam os raios solares para a geração de energia solar, acompanhando a movimentação do Sol ao longo do dia. Conforme o vídeo do canal oficial do projeto, essa movimentação permite a geração energética para abastecer, principalmente, famílias médias, de forma limpa e gratuita.

“[...] este é um produto tudo em um, o que significa que neste mesmo produto estão incluídas as placas, obviamente também estão incluídas o inversor que inclui todo o circuito de forma a gerar energia desde o primeiro momento. Esta é uma usina solar que precisa de um espaço de aproximadamente 25 metros quadrados, tem 18 metros quadrados de painéis e gera, dependendo de onde está localizado, entre 3.600 e 6.200 quilowatts por ano, uma casa familiar média, pode consumir aproximadamente por ano entre 4.000 e 5.000 quilowatts [...]” (Smartflower, 2021).

O ecodesign da tecnologia apresenta de forma evidente a referência da flor, observando que ele possui pétalas e um caule, formato que permite e facilita a movimentação da tecnologia em direção à luz solar. O ecodesign, além de inovador, faz da tecnologia visualmente interessante, proposta que pode ser observada pelo slogan da organização: “faça uma demonstração solar com a escultural, inteligente SmartFlower”.

Embora pareça se tratar de uma tecnologia bastante frágil, a SmartFlower possui seu próprio mecanismo de proteção para períodos de tempestade ou ventania. A base do projeto possui uma caixa, onde as pétalas e o caule se contraem se inserindo dentro da caixa em situações de tempestade ou ventania. O mesmo ocorre à noite, em decorrência da ausência do Sol.

A caixa base do projeto serve também para os períodos de limpeza da tecnologia, pois ao se contrair, essa limpeza é feita diariamente pelo próprio equipamento, o qual é constituído por pequenas “vassourinhas” que fazem a sua limpeza de forma constante, o que ainda não parece ser possível, por exemplo, em painéis solares tradicionais. Essa limpeza constante do equipamento auxilia também na sua manutenção e eficiência na captura da luz solar.

Outra funcionalidade desse mecanismo de retração, é que a SmartFlower se torna portátil, pois ao se inserir no interior da caixa ela passa a pesar cerca de 650 quilogramas. Assim, o seu proprietário pode carregá-la, mesmo ao mudar de residência, portanto, não é algo conectado com a residência, onde se perde o investimento com a mudança, mas é um investimento familiar. Os dados demonstram que a tecnologia SmartFlower não gera interesse unicamente por gerar energia com a sua movimentação e por ser portátil, mas é eficiente também na sua instalação, em apenas algumas horas é possível adquiri-la, recebê-la, instalá-la e conectá-la.

O girassol tem se mostrado como uma fonte de inspiração comum para os desenvolvedores de geradores de energia fotovoltaicos. Além da tecnologia do SmartFlower que se baseou em toda a estrutura do girassol, foi identificado o SunBOT, que consiste em um sistema que é acoplado aos painéis solares, uma nanotecnologia baseada em polímeros responsivos que permitem a movimentação dos painéis em direção ao sol, assim como ocorre com o girassol de forma natural.

O SunBOT é baseado no caule do girassol e sua habilidade natural de movimentação, como estratégia para recuperar a captura da energia solar, o que não seria possível caso estivesse em outro ângulo. Conforme destacado por Qian et al. (2019):

“[...] Essa reconfiguração adaptativa é realizada por meio de um loop de feedback embutido, enraizado nas propriedades foto térmicas e mecânicas do material. Este sistema é denominado rastreador biomimético omnidirecional semelhante ao girassol (SunBOT). Mostramos que uma série de SunBOTs pode, em princípio, ser usada em dispositivos de geração de vapor solar, visto que atinge um aumento de 400% na captação de energia solar em relação a materiais não tropísticos em ângulos de iluminação oblíquos [...]” (Qian et al. 2019, p. 1).

Como se pode observar, até mesmo o nome do equipamento veio do sistema natural do girassol de rastreamento da luz solar. A movimentação das plantas em busca de recuperar sua fonte de energia é conhecida como fototropismo. Em um ambiente natural esse aumento da temperatura gera também a atração de polinizadores. Ação, que até então não era encontrada em materiais artificiais, mas que os cientistas desenvolveram com o SunBOT. Assim, a tecnologia busca a iluminação, e quando é desligada ou sofre algum tipo de alteração, como a mudança de direção, ele retorna à forma original, até encontrar a fonte de energia e se reclinar novamente em sua direção.

Assim, esse fototropismo artificial permitiu que fosse alcançada maior eficiência nos painéis solares para a captura dos raios solares, pois suas pontas de fibras facilmente articuláveis conseguem se curvar ao ponto de encontrar o melhor ângulo para a captação de luminosidade e geração de energia. Eficiência essa que só seria possível caso o proprietário mudasse a localização da placa fotovoltaica a cada 45 minutos. Portanto, o SunBOT aumenta a eficiência energética dos painéis fotovoltaicos. Sua estrutura é composta por um material reconfigurável e adaptável, que se baseia em feedbacks constantes que medem a sua eficiência, chegando assim a capturar 90% da luz solar a um ângulo de 75° de perpendicularidade da superfície, enquanto que um painel estático comum consegue capturar apenas 24% da luz em mesmo ângulo.

Assim como ocorre com a SmartFlower, o SunBOT também possui um sistema de autolimpeza, para assim garantir a sua eficiência energética. Nesse caso consistem em mini robôs denominados Spot. A utilização de sistemas de autolimpeza evita a perda da captura de 40% do potencial energético, pois a própria poeira pode influenciar na sua atuação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou responder a seguinte questão de pesquisa: “*Como o design deecoinovações tecnológicas em geração de energia renovável pode ser inspirado na natureza?*”. Por meio dos resultados da bibliometria é possível concluir que existe multidisciplinaridade na literatura, ou seja, a vinculação de várias áreas tendo como propósito a pesquisa sobre geradores de energia baseados na biomimética, assim como uma interdisciplinaridade, pois essas áreas acabam tendo um cruzamento, um ponto de encontro no que se refere ao objeto do estudo.

É possível concluir que a China apresenta maior representatividade com relação ao interesse sobre fontes alternativas de energia, pois a literatura apontou uma preocupação com

a implementação de patentes verdes no país, o que pode ser justificado pelo seu processo de desenvolvimento, que em conjunto tem gerado altos níveis de poluição ambiental e pressão sobre recursos naturais.

Por meio dos projetos estudados, foi possível concluir que equipamentos construídos para a coleta de energia e que têm como referência o meio ambiente, costumam apresentar como resultado uma maior eficiência que a inovação em seu formato tradicional. Evidências podem ser percebidas no projeto WhalePower que, ao inserir os formatos das barbatanas da Jubarte, conseguiu gerar mais eficiência mesmo em períodos com pouco vento; no projeto SmartFlower, que se trata de uma tecnologia mais frágil, mas que por conta disso pode ser aplicado em diferentes circunstâncias; e no projeto SunBOT, que demonstrou considerável eficiência em relação aos painéis solares comuns.

Em todas as ecoinovações foi possível concluir que os seus criadores se basearam na natureza das três formas mencionadas por Benyus (1997), ou seja, como “modelo” (observando as formas, sistemas e estratégias da própria natureza); “medida” (observando a natureza para corrigir e melhorar a sua inovação) e “mentora” (em que se aprendeu com a evolução natural do meio ambiente).

Contudo, embora as ecoinovações tenham como referência o meio ambiente, e dois se basearam inclusive na mesma flor, o girassol, é possível concluir que cada ecoinovação buscou replicar diferentes elementos na natureza. Por exemplo, enquanto a SmartFlower se baseia na estrutura natural do girassol, a SunBOT, teve como referência unicamente o caule do girassol e o aplicou nas placas fotovoltaicas para a coleta de energia. É possível concluir, também, que cada ecoinovação buscou eficiência energética. Enquanto as ecoinovações SunBOT e WhalePower estão focadas em eficiência para grandes corporações, a SmartFlower busca atender a casas familiares, tendo como propósito conceder energia limpa e gratuita.

Por fim, foi possível perceber que, embora as ecoinovações tenham a natureza como referência, tais tecnologias ainda não podem ser consideradas totalmente limpas, o que permite concluir que uma tecnologia pode ser mais ou menos ecoinovadora. Dito de outro modo, há um grau de ecoinovação. Como ocorre, por exemplo, no projeto SunBOT, pois, conforme foi destacado nos dados coletados, ainda existe a utilização de materiais tóxicos para o desenvolvimento do produto, os quais podem causar danos ambientais. Dessa forma, concluiu-se que existe a necessidade de pesquisas em profundidade sobre fontes alternativas de energia que não utilizem materiais e produtos tóxicos. Entende-se que a própria natureza pode ser fonte de inspiração para projetos futuros, uma vez que produtos e materiais oriundos da química verde podem substituir materiais tóxicos, por exemplo.

A presente pesquisa tem como limitação o recorte teórico, que se originou das escolhas dos pesquisadores, portanto, outras configurações são possíveis. Assim, sugere-se que sejam feitos estudos futuros que busquem entender outros projetos de biomimética para o desenvolvimento de geradores de energia renováveis. Além de pesquisas que sejam aplicáveis para o desenvolvimento de tais geradores. Entende-se que se trata de um campo bastante vasto e que trará grandes contribuições para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Analytics, C. (s.d.). Web of Science. Disponível em: <<https://clarivate.com/webofsciencelgroup/solutions/web-of-science/>>. Acesso em: 26 fevereiro 2021.

Andersen, M. M., & Foxon, T. J. (2009). The greening of innovation systems for eco-innovation-towards an evolutionary climate mitigation policy. In *DRUID Summer Conference 2009*. DRUID Society.

- Araújo, C. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em questão*, 12(1), 11-32.
- Bar-Cohen, Y. (2006). Biomimetics—using nature to inspire human innovation. *Bioinspiration & biomimetics*, 1(1), P1.
- Bardin, L. (1977). *L'Analyse de contenu*. França: Presses Universitaires de France.
- Bardin, L. (2004). *Análise de conteúdo*. Tradução Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. 3 ed. ed. Lisboa: Edições 70.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: Morrow.
- Bhushan, B. (2009). Biomimetics: lessons from nature—an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1893), 1445-1486.
- Bovea, M. D., & Pérez-Belis, V. (2012). A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 61-71.
- Carrillo-Hermosilla, J., Del Río, P., & Könnölä, T. (2010). Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of cleaner production*, 18(10-11), 1073-1083.
- Cewaste. Fabrice Mathieux. Cewaste, 2020. Disponível em: <<https://cewaste.eu/advisory-board/fabrice-mathieux/>>. Acesso em: 07 junho 2021.
- Cewaste. Dominique Millet. Cewaste, s.d. Disponível em: <<https://cosmer.univ-tln.fr/en/dominique-millet-2/>>. Acesso em: 07 junho 2021.
- Chen, C. (2014). *The citespace manual*. College of Computing and Informatics. [S.l.], 1-84.
- COM 68. (2001). Green Paper on Integrated Product Policy. Commission to the Council and the European Parliament. *Brussels*: [s.n.].
- Davidov, V. (2019). Biomimicry as a Meta-Resource and Megaproject: A Literature Review. *Environment and Society*, 10(1), 29-47.
- de Brito, S. D. C., & de Oliveira, A. (2014). A relação entre o desenvolvimento de produtos verdes e as estratégias ambientais—o caso de uma empresa multinacional do setor de produtos eletroeletrônicos. *RAI Revista de Administração e Inovação*, 11(4), 287-309.
- De Marchi, V. (2012). Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms. *Research policy*, 41(3), 614-623.
- de Jesus Pacheco, D. A., Carla, S., Jung, C. F., Ribeiro, J. L. D., Navas, H. V. G., & Cruz-Machado, V. A. (2017). Eco-innovation determinants in manufacturing SMEs: Systematic review and research directions. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2277-2287.
- De Sá, A. A. & Viana, D. M. (2020). Design e Biomimética: uma revisão sistemática da literatura. *Researchgate*.

- Dekoninck, E. A., Domingo, L., O'Hare, J. A., Pigosso, D. C., Reyes, T., & Troussier, N. (2016). Defining the challenges for ecodesign implementation in companies: Development and consolidation of a framework. *Journal of Cleaner Production*, 135, 410-425.
- Detanico, F. B., Teixeira, F., & da Silva, T. L. (2010). A biomimética como método criativo para o projeto de produto. *Design & Tecnologia*, 1(2), 101-113.
- Dugonski, F. C. V; Picheth, F. M; Paixão, A. C. M; Annunciato. T. R & Suss, M. F. D. C. A *RELAÇÃO ENTRE ECONOMIA CIRCULAR E ECOINOVAÇÃO NAS PUBLICAÇÕES DE 2009 A 2018*. In: Carvalho, S. R.; Bacellar, T. M. (Org.). Coletânea Gestão contemporânea: experiências e desafios. São Luís: Editora Pascal, 2020: p.157-173. Disponível em: <https://editorapascal.com.br/wp-content/uploads/2020/07/GEST%C3%83O-CONTEMPOR%C3%82NEA-VOL-2.pdf>. Acesso em: 05/07/2021
- Earthava. (n.d.). The flower shaped solar panels are here, and they are a game changer. Disponível em: <<https://www.earthava.com/flower-shaped-solar-panels/>>. Acesso em: 20 Maio 2021.
- Eco-Innovation Observatory - EIO. Europe in Transition:Paving the way to a green economy through eco-innovation., 2012. Disponível em: <<http://www.eco-innovation.eu/index.php/reports/annual-reports?download=35:europe-in-transition>>. Acesso em: 01 junho 2021.
- Files, S. (2019). Sunbot - A sunflower inspired nanotechnology material to harvest solar energy. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=19fNv7RLKaw&t=144s>>. Acesso em: 29 abril 2021.
- França, C. L., Broman, G., Robert, K. H., Basile, G., & Trygg, L. (2017). An approach to business model innovation and design for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 140, 155-166.
- Fussler, C., & James, P. (1996). *Driving Eco-Innovation: A Break through Discipline for Innovation and Sustainability*. London: Pitman Publishing.
- Gil, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas.
- Godoy, A. S. (1995). Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. *Revista de Administração de Empresas*, 35(3), 20-29.
- Group, S. W. S. (s.d.). Tubercle Fan Vs. Competitive HVLS Fans. Disponível em: <https://www.southwestsolutions.com/public_pdf/TubercleVsCompetitorHVLS_SSG_1114.pdf>. Acesso em: 19 abril 2021.
- Hodson, H. (2013). *Rise of the sunbots*. *New scientist*. 2930 (22).
- Hofstra, N., & Huisingh, D. (2014). Eco-innovations characterized: a taxonomic classification of relationships between humans and nature. *Journal of Cleaner Production*, 66, 459-468.
- Horbach, J., & Rammer, C. (2018). Energy transition in Germany and regional spill-overs: The diffusion of renewable energy in firms. *Energy policy*, 121, 404-414.

- IPCC. (2014). Climate change 2014 synthesis report summary for policymakers. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf>. Acesso em: 18 Janeiro 2021.
- Jaca, C., Prieto-Sandoval, V., Psomas, E. L., & Ormazabal, M. (2018). What should consumer organizations do to drive environmental sustainability?. *Journal of Cleaner Production*, 181, 201-208.
- Kemp, R., & Pearson, P. (2007). Final report MEI project about measuring eco-innovation. *UM Merit*, Maastricht, 10(2).
- Kiefer, C. P., Del Rio Gonzalez, P., & Carrillo-Hermosilla, J. (2019). Drivers and barriers of eco-innovation types for sustainable transitions: A quantitative perspective. *Business Strategy and the Environment*, 28(1), 155-172.
- Koellner, T., Suh, S., Weber, O., Moser, C., & Scholz, R. W. (2007). Environmental impacts of conventional and sustainable investment funds compared using input-output life-cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 11(3), 41-60.
- Kohsaka, R., Fujihira, Y., & Uchiyama, Y. (2019). Biomimetics for business? Industry perceptions and patent application. *Journal of Science and Technology Policy Management*.
- Lin, D., Hanscom, L., Murthy, A., Galli, A., Evans, M., Neill, E., ... & Wackernagel, M. (2018). Ecological footprint accounting for countries: updates and results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources*, 7(3), 58.
- Miles, C. Colgate University. (2017). Taking a Cue from Nature. Disponível em: <<http://blogs.colgate.edu/sustainability/2017/06/09/taking-a-cue-from-nature/>>. Acesso em: 16 abril 2021.
- Mulyana, T., Sebayang, D., Fajrina, F., & Faizal, M. (2018). Design and Analysis of Solar Smartflower Simulation by Solidwork Program. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 343, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Naseer, M. M., & Mahmood, K. (2009). Use of bibliometrics in LIS research. *LIBRES: Library and Information Science Research Electronic Journal*, 19(2), 1.
- Office, E. P. (2020) Stephen Dewar, Philip Watts & Frank Fish - Turbines and fans inspired by whales, 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=55K9j4om4DU>>. Acesso em: 19 abril 2021.
- Oliveira, E. A. G. D. (2013). *Design sistêmico eecoinovação em apls: o método FLORA como estratégia sustentável aplicada para o polo de confecções de Pernambuco*. Tese (Doutorado em Design) - Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Estadual Paulista. Bauru, p. 1-441.
- Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD (2009). Sustainable manufacturing and eco-innovation: towards a green economy. *Policy Brief-OECD Observer*.
- Pigosso, D. C., Rozenfeld, H., & McAlloone, T. C. (2013). Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 59, 160-173.

- Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Demattê Filho, L. C., & Armellini, F. (2018). Framework proposal for ecodesign integration on product portfolio management. *Journal of Cleaner Production*, 185, 176-186.
- Perna, A., Minutillo, M., Lavadera, A. L., & Jannelli, E. (2018). Combining plasma gasification and solid oxide cell technologies in advanced power plants for waste to energy and electric energy storage applications. *Waste Management*, 73, 424-438.
- Qian, X., Zhao, Y., Alsaid, Y., Wang, X., Hua, M., Galy, T., ... & He, X. (2019). Artificial phototropism for omnidirectional tracking and harvesting of light. *Nature nanotechnology*, 14(11), 1048-1055.
- Rossi, M., Germani, M., & Zamagni, A. (2016). Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, 129, 361-373.
- Sala, S., & Castellani, V. (2011). Technology sustainability assessment to support decision making on energy production at local scale. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 6(3), 251-267.
- Shrivastava, P. (1995). Environmental technologies and competitive advantage. *Strategic management journal*, 16(S1), 183-200.
- Smartflower. (2021) Products, 2021. Disponível em: <<https://smartflower.com/products/>>. Acesso em: 14 abril 2021.
- Soares, M. A. R. (2008). Biomimetismo e Ecodesign: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis. Lisboa. *Universidade Nova de Lisboa-Faculdade de Ciências e Tecnologia*.
- Tamayo, U., & Vargas, G. (2019). Biomimetic economy: human ecological-economic systems emulating natural ecological systems. *Social Responsibility Journal*.
- Tecnológico, C. N. D. D. C. E. Currículo Lattes. CNPQ, 2013. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/0616394640932940>>. Acesso em: 07 junho 2021.
- Tumelero, C., Sbragia, R., & Evans, S. (2019). Cooperation in R & D and eco-innovations: The role in companies' socioeconomic performance. *Journal of Cleaner Production*, 207, 1138-1149.
- Van Der Ryn, S. & Cowan, S. (1996). *Ecological Design*. Washington: DC.
- Whalepower. (s.d). Tests. Disponível em: <<https://whalepowercorp.wordpress.com/testing-and-third-party-testing/>>. Acesso em: 16 abril 2021.
- Whalepower. (s.d). Wind Turbines. Disponível em: <<https://whalepowercorp.wordpress.com/wind-turbines/>>. Acesso em: 16 abril 2021.
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de caso: Planejamento e Métodos*. Tradução: Daniel Grassi. 2 ed. Porto Alegre: Bookman.
- Zari, M. P. (2010). Biomimetic design for climate change adaptation and mitigation. *Architectural Science Review*, 53(2), 172-183.