

Implantação da biomimética como processo de otimização das estruturas para produção animal

Implementation of biomimetics as an optimization process of animal production structures

Implantación de biomimética como proceso de optimización de estructuras para la producción animal

Recebido: 11/05/2021 | Revisado: 18/05/2021 | Aceito: 20/05/2021 | Publicado: 21/05/2021

Fabiane de Fátima Maciel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7117-6965>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: fabiane.maciel@ufv.br

Carlos Eduardo Alves Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2104-7428>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: carlosooliveira@ufv.br

Leonardo França da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: leonardo.silva@ufv.br

Fernanda Campos de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5584-728X>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: fernanda.sousa@ufv.br

Ilda de Fátima Ferreira Tinôco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4557-8071>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: iftinoco@hotmail.com

Richard Stephen Gates

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2812-1739>
Iowa State University, United States of America
E-mail: rsgates@iastate.edu

Resumo

O estudo teórico das aplicações da Biomimética nas construções e no desenvolvimento de soluções reúne métodos, conceitos e exemplos de aplicações que podem despertar a criatividade e, ao mesmo tempo, o pensamento crítico a respeito do resgate do equilíbrio entre a ação humana e a natureza. A inspiração da Biomimética pode conscientizar sobre a necessidade de adotarem-se novas tecnologias, padrões e critérios de sobrevivência, considerando o equilíbrio ambiental. Neste sentido, o objetivo deste estudo é descrever a utilização da Biomimética como agente promissor de ideias sustentáveis às problemáticas identificadas na área de ambiência na produção animal. Com uma análise sistemática da literatura, são apresentadas propostas de soluções já utilizadas/projetadas para resolver problemas existentes, por meio de analogias com sistemas naturais. Desta forma, são apontadas tecnologias menos difundidas ou em fase de pesquisa, como construções rápidas e portáteis, estruturas que favoreçam a melhoria do conforto térmico e acústico, tratamento da água e esgoto, e consumo de energia renovável. Todas estas tecnologias são promissoras no processo de otimização de estruturas para a produção animal.

Palavras-chave: Construções rurais e ambiência; Biomimetismo; Sustentabilidade.

Abstract

The theoretical study of the applications of Biomimetics in the construction and development of solutions brings together methods, concepts and examples of applications that can awaken creativity and, at the same time, critical thinking about the recovery of the balance between human action and nature. The inspiration of Biomimetics can raise awareness about the need to adopt new technologies, standards, and survival criteria, considering the environmental balance. In this sense, the objective of this study is to describe the use of Biomimetics as a promising agent for sustainable ideas to the problems identified in ambience in animal production. With a systematic analysis of the literature, proposals for solutions already used/designed to solve existing problems are presented, through analogies with natural systems. In this way, less widespread technologies or research are pointed out, such as fast and portable constructions, structures that favor the improvement of thermal and acoustic comfort, water and sewage treatment, and renewable energy consumption. All these technologies are promising in the process of optimizing structures for animal production.

Keywords: Rural buildings and ambience; Biomimetism; Sustainability.

Resumen

El estudio teórico de las aplicaciones de la Biomimética en la construcción y desarrollo de soluciones reúne métodos, conceptos y ejemplos de aplicaciones que pueden despertar la creatividad y, al mismo tiempo, el pensamiento crítico sobre la recuperación del equilibrio entre la acción humana y la naturaleza. La inspiración de la Biomimética puede generar conciencia sobre la necesidad de adoptar nuevas tecnologías, estándares y criterios de supervivencia, considerando el equilibrio ambiental. En este sentido, el objetivo de este estudio es describir el uso de la Biomimética como un agente promotor de ideas sostenibles para los problemas identificados en el área del ambiente en la producción animal. Con un análisis sistemático de la literatura, se presentan propuestas de soluciones ya utilizadas/diseñadas para resolver problemas existentes, a través de analogías con sistemas naturales. De esta forma, se apuntan tecnologías o investigaciones menos extendidas, como las construcciones rápidas y portátiles, estructuras que favorecen la mejora del confort térmico y acústico, el tratamiento de aguas y aguas residuales, y el consumo de energías renovables. Todas estas tecnologías son prometedoras en el proceso de optimización de estructuras para la producción animal.

Palabras clave: Edificios y ambientes rurales; Biomimetismo; Sustentabilidad.

1. Introdução

Conforme dados do Plano Estratégico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para o período de 2020 a 2031 (Brasil, 2020), a produção agrícola brasileira utiliza cerca de 30% do território nacional, enquanto 66% são dedicados à preservação ambiental. O Brasil conta com uma das legislações ambientais mais rígidas do mundo, um robusto plano de fomento às energias renováveis, e se destaca como um dos principais responsáveis pela redução dos gases causadores do efeito estufa. Ao mesmo tempo em que se faz necessário reduzir as emissões a nível mundial, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* estima que a produção de alimentos deverá ser aumentada em 40% até o ano 2040, para que seja suprida a crescente demanda da população mundial (Brasil, 2020).

A nível mundial, o setor agropecuário vem sofrendo mudanças consideráveis nas áreas econômica, cultural, tecnológica, social, ambiental e mercadológica, que ocorrem concomitantemente em diferentes direções e com elevada rapidez. Deste modo, se faz necessário o setor busque soluções para algumas questões importantes, tais como disponibilidade dos recursos naturais, controle da geração de poluentes e extração de matéria-prima sustentável. As principais estratégias utilizadas pelos produtores são a intensificação do uso dos recursos disponíveis e os investimentos em capacitação de gestão dos estabelecimentos rurais, haja vista que o sucesso na atividade produtiva é função da habilidade do produtor em aderir as ferramentas tecnológicas disponíveis (Embrapa, 2018; Brasil, 2020).

Em relação ao setor de construção, as inovações tecnológicas empregadas não se restringem ao uso de computadores, internet ou ferramentas inovadoras. Neste caso, o processo de inovação deixou de ser visto como um diferencial competitivo, tornando-se necessário para que sejam atingidos resultados satisfatórios. Todo processo de inovação busca uma execução eficiente, com custos reduzidos, sem necessidade de retrabalho e com a promoção da sustentabilidade. No entanto, o setor de construção no Brasil ainda é um dos menos industrializados e mais arcaicos do mundo. Neste sentido, atualmente percebe-se que há necessidade do uso de metodologias mais eficientes, adaptativas, e com emprego de tecnologias que atendam às necessidades atuais e futuras, que possibilitem alcançarem-se resultados mais satisfatórios em relação ao uso dos recursos naturais, com menor impacto ambiental, e pautados em valores éticos e morais (IBEC, 2019).

Neste cenário altamente competitivo de aumento da produção e implementação da sustentabilidade, o uso de novas tecnologias no processo produtivo torna-se cada vez mais necessário, haja vista que se busca a maior eficiência no uso dos recursos disponíveis e o atendimento às necessidades das gerações futuras. Em termos simples, a Biomimética, que significa “imitação da vida” (do grego *bios*, vida, e *mimesis*, imitação), envolve pesquisas multidisciplinares e observação de metodologias ou sistemas existentes na natureza como ponto de partida para desenvolver tecnologias, adaptar soluções e criar produtos inovadores. É uma maneira eficaz de utilizar formas orgânicas para o desenvolvimento de produtos, como forma de garantir a criação de estruturas e equipamentos que considerem aspectos funcionais baseados em sistemas naturais. Seu objetivo é buscar

a eficiência da construção em termos estéticos, energéticos, construtivos e principalmente a funcionalidade em relação aos materiais empregados (Inthurn, 2019; Silva, Oliveira & Gonzaga, 2019; Biomimicry Institute, 2021a).

A Biomimética atua em diferentes áreas do conhecimento, tais como design, medicina, arquitetura, biologia, química, física, matemática, engenharias, agricultura, computação, dentre outras, e baseia-se no estudo da natureza como fonte de consulta e inspiração para o desenvolvimento de soluções. Por meio do estudo destes sistemas, seus princípios de funcionamento e suas complexidades, é possível identificar potenciais soluções para problemas encontrados em diversas áreas de interesse. O objetivo deste método é criar produtos, processos e políticas de desenvolvimento sustentável inspirados não no que pode ser extraído da natureza, mas no que é possível aprender com ela. A ideia de “fazer do jeito da natureza” tem o potencial de mudar a maneira de como cultivar alimentos, fabricar materiais, aproveitar energia, armazenar informações e conduzir negócios (Benyus, 2002; Biomimicry Institute, 2021a).

Muitas vezes, observar fenômenos que ocorrem na natureza possibilita identificar resultados conceituais estratégicos, que possuem potencial para sanar problemas identificados ao longo do projeto. Por meio destes resultados conceituais, é possível criar analogias nas formas, estruturas e comportamento dos sistemas (Meira, 2008). De modo geral, o consumo das edificações é de aproximadamente um terço do consumo final de energia, ao passo que suas emissões correspondem a cerca de um quinto das emissões de gases causadores do efeito estufa (WBCSD, 2020). Desta forma, algumas melhorias nos projetos podem influenciar diretamente no dimensionamento da estrutura, na adequação do projeto arquitetônico, na utilização de recursos de iluminação e ventilação natural, dentre outras ações inspiradas no biomimetismo.

Por meio da Biomimética, potencializa-se a aplicação de inovações/ideias baseadas em sistemas naturais, bem como demonstra-se como desenvolver métodos de cura, produção eficiente e aproveitamento de energia (Meira, 2008). E para que seja possível propor soluções mais sustentáveis e resolver problemas existentes no setor de construção, profissionais como engenheiros, arquitetos e biólogos devem trabalhar em conjunto, observando organismos de sistemas naturais, como forma de identificar problemas com projeção semelhante já resolvidos por estes organismos (Zari, 2007).

Baseada na evolução de sistemas biológicos, que se desenvolveram por meio de tentativas e erros, e alcançaram soluções mais equilibradas de sobrevivência, a Biomimética caracteriza-se como uma ferramenta com elevado potencial de aplicação em projetos, podendo ter seus princípios aplicados nas mais diversas áreas (Meira, 2008). Ante o exposto, o objetivo deste estudo é identificar a influência da Biomimética em edificações rurais, com vista a otimização de estruturas utilizadas para a produção animal. Especificamente, objetiva-se: identificar as problemáticas ligadas a produção animal, como forma a mapear, avaliar e descrever possíveis soluções propostas pela natureza; analisar as informações que se referem a problemática, como forma a obter informações mais detalhadas e abrangentes; gerar alternativas, a fim de propor soluções para os problemas identificados; e aplicar modelos biomiméticos à sistemas de produção animais.

2. Metodologia

Este estudo foi desenvolvido com base na literatura disponível sobre Biomimetismo e o seu uso para otimização de estruturas aplicadas a produção animal, caracterizando-se como de natureza quantitativa (Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka, 2018). Os estudos utilizados neste trabalho foram obtidos por meio de bibliotecas virtuais, periódicos, livros e demais materiais disponíveis sobre o assunto.

3. Resultados e Discussão

3.1 Breve histórico da Biomimética

De acordo com Aguiar, Queiroz e Araújo (2017), a partir da década de 1950, documentos científicos registraram as primeiras associações de atividades humanas frente à natureza. O termo *Biomimetics*, que em tradução literal significa

Biomimetismo, foi empregado pela primeira vez pelo engenheiro biomédico Otto H. Schmitt na década de 1950, que tinha o objetivo de criar uma diferenciação ao termo Biofísica (Schneider, 2010). A partir de então, este termo passou a ter uso constante nas áreas biomédicas, baseando-se no estudo de sistemas naturais e na imitação de processos e métodos, com o objetivo de desenvolver produtos e processos semelhantes por meio mecanismos artificiais análogos aos naturais (Bushan, 2009). Com base neste termo, surgiram outros com conotação semelhante, como *Bionics* (Biônica), surgido em 1958, definido como a ciência dos sistemas com funcionamento baseado em sistemas naturais, que apresentam características específicas semelhantes, ou que são análogos a estes (Arruda, 1984), e *Biomimicry* (Biomimética), criado na década de 1970 pelo casal Todd e Nancy Jack-Todd, por meio do grupo *The New Alchemy Institute* (Aguiar et al., 2017).

O *Biomimicry Institute* foi fundado em 2006 por Janine Benyus e Bryony Schwan, e está localizado na cidade americana de Missoula, no estado de Montana, USA (Biomimicry Institute, 2021b). O instituto administra um grupo de pesquisa que tem o objetivo de divulgar metodologias focadas em projetos com Biomimética e, anualmente, realiza desafios de design com foco na resolução de problemas de sustentabilidade, que mobilizam milhares de pesquisadores e profissionais na busca pelo desenvolvimento de um banco de dados de inspiração em Biomimética (Biomimicry Institute, 2021c).

O edifício *Eastgate Center*, localizada na cidade de Harare, Zimbabué, é um dos exemplos mais conhecidos de arquitetura e engenharia Biomimética, e foi projetado pelo arquiteto Mick Pearce, juntamente com engenheiros da empresa *Arup Associates*. No interior deste edifício, a temperatura consegue ser mantida naturalmente fresca, mesmo sem a presença de ar-condicionado, graças a um sistema de ventilação inspirado no sistema de ventilação encontrado nos cupinzeiros da espécie *Macrotermes Subhylinus*. Por meio deste sistema de arrefecimento, os cupins conseguem manter a temperatura no interior dos cupinzeiros em torno de 31 °C, mesmo com a ocorrência de variações externas. Este sistema de ventilação proporcionou uma economia de 3,5 milhões de dólares em custos com ar-condicionado nos primeiros cinco anos de utilização do edifício *Eastgate Center*. No caso deste edifício, destaca-se ainda o consumo de energia, que é de apenas 10% do consumo de um edifício convencional com mesmas dimensões (Inthurn, 2019; Biomimicry Institute, 2021d).

3.2 Atividades de produção animal

Por tempos, houve grande preocupação por parte dos produtores com a queda produtiva dos animais, relacionada com ambientes considerados adversos à produção. Porém, este quadro foi sendo alterado ao longo do tempo com os avanços das pesquisas e, atualmente, é evidente que diversas técnicas produtivas podem ser empregadas satisfatoriamente para favorecer a adaptação do animal ao ambiente, controlar os fatores ambientais e manter o seu desempenho produtivo (Baêta & Souza, 2010).

O ambiente de produção abrange o conjunto de variáveis físicas, químicas, biológicas, sociais, aéreas e térmicas que interagem com os animais e podem lhes causar mudanças de comportamento (Baêta & Souza, 2010). De modo geral, considera-se que as variáveis térmicas são as causadoras dos maiores efeitos adversos à produção, haja vista que temperatura, umidade relativa e radiação solar são consideradas as principais responsáveis por causarem desconforto fisiológico nos animais, podendo levar a ocorrência de estresse térmico e, conseqüentemente, redução no desempenho produtivo Souza et al. (2010). Neste sentido, o dimensionando apropriado das instalações e uso de tecnologias de arrefecimento adequadas são fatores primordiais para que se tenha sucesso nas atividades de produção animal (De Mori et al., 2020).

Em se tratando de produção animal, manejo e descarte adequado dos dejetos produzidos são outros pontos importantes, que devem ser considerados e corretamente realizados. Em instalações para suínos, por exemplo, são utilizados elevados volumes de água, destinados desde a nutrição dos animais até a higienização das baias, fazendo com que sejam geradas grandes quantidades de resíduos, geralmente água residuária com alto potencial poluidor. Logo, o emprego de tratamento e descarte adequados das águas residuárias geradas, por meio de processos que contribuam para a redução do potencial poluente destes resíduos e possibilitem reaproveitá-los ou reinseri-los em corpos d'água, são etapas de extrema necessidade nas atividades de

produção animal (Costa & Marvulli, 2020). O descarte inadequado dos resíduos orgânicos produzidos nas atividades de produção animal pode ocasionar sérios danos ao meio ambiente, como a eutrofização de corpos de água, a lixiviação de nutrientes (principalmente nitrato), e o aumento das emissões de gases causadores do efeito estufa (Trombetta et al., 2020).

3.3 Elementos essenciais a metodologia abordada

A metodologia de Bonsiepe, Kellner e Poessnecker (1984) é, sem dúvida, uma das mais conhecidas e utilizadas pelos designers em seus projetos de produto. Esta metodologia é constituída por cinco etapas fundamentais, que são problematização, análise, definição do problema, geração de alternativas (avaliação, decisão, escolha) e projeto. Ela pode ser utilizada de maneira completa – com integralidade de etapas –, ou com alguma destas etapas adaptada – com simplificação ou aprofundamento de alguma das etapas –, se adequando a cada caso (Inthurn, 2019). Seguindo esta metodologia, o ponto crucial da pesquisa é a determinação do problema, que tem sua identificação ilustrado por meio do fluxograma da Figura 1, extraída de Bonsiepe et al. (1984) *aput* Inthurn (2019).

Figura 1. Fluxograma da identificação de uma problemática.



Fonte: Bonsiepe et al. (1984) *aput* Inthurn (2019).

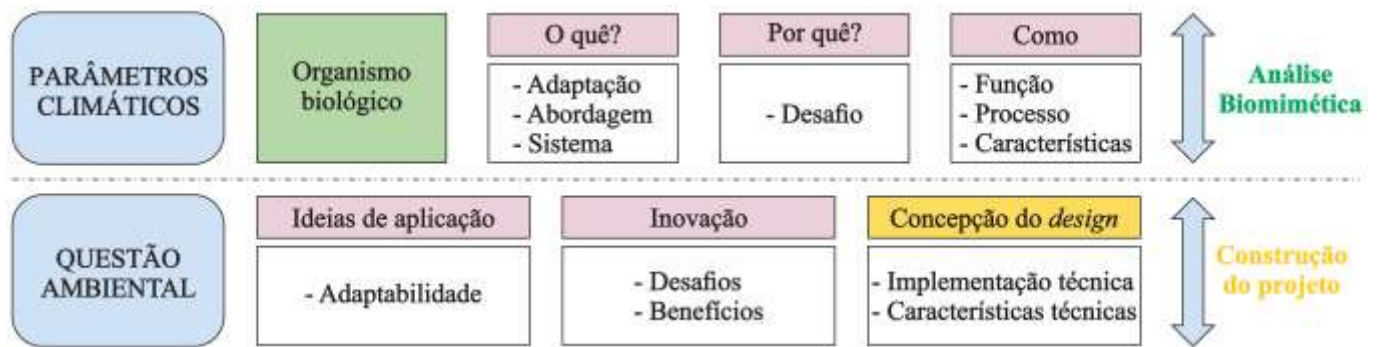
Um outro método com larga utilização pelos designers de produto é o *Biomimicry Design Spiral* (Espiral de Design Biomimético), tido como um processo que retrata como transformar as estratégias desenvolvidas pela natureza em soluções de design inovadores e sustentáveis. Este método foi elaborado no ano de 2005 pelo designer industrial Carl Hastrich, que o desenvolveu com base em um processo padrão de design, ao qual foram acrescentadas etapas características exclusivas da Biomimética, de modo a transformá-lo em uma espiral. Por meio de uma volta em torno do *Biomimicry Design Spiral*, é possível realizar a identificação e tradução do problema, descobrir e abstrair estratégias em termos técnicos, e simular e avaliar o projeto fina (Deluca, 2020).

De acordo com Jensen e Andreasen (2010), o projeto se divide em quatro fases principais, que são: definição da tarefa – fase em que se estuda o problema e elabora-se uma lista de requisitos; projeto conceitual – que corresponde a busca por combinações de princípios de soluções; projeto preliminar – no qual busca-se satisfazer as funções do produto, sendo configurados por seus componentes, *layout*, processos de fabricação e materiais apropriados para a concepção selecionada; e

projeto detalhado – fase na qual se estabelecem as descrições definitivas para as soluções dos elementos construtivos, formas, dimensões, acabamentos superficiais, materiais e processos de fabricação.

Por meio do trabalho “*Plants and architecture: The role of biology and biomimetics in materials development for buildings*”, Durai Prabhakaran et al. (2019) descrevem como deve ser a abordagem, interpretação ou abstração necessária para traduzir os conceitos Biomiméticos e desenvolver novos projetos e tecnologias e/ou projetos de construções. Os autores destacam que a interpretação direta não é uma solução possível, e especificam que a abordagem Biomimética para arquitetura e design requer algumas etapas específicas, conforme ilustrado na Figura 2, proposta por López et al. (2017).

Figura 2. Geração da concepção do design na criação de um projeto biomimético.



Fonte: López et al. (2017).

Durai Prabhakaran et al. (2019) destacam que o desenvolvimento Biomimético requer o emprego de abordagens complexas e multidisciplinares. Neste estudo, a abordagem está diretamente relacionada aos projetos de instalações, como ventilação ativa ou passiva, sombreamento, controle de resíduos e geração de energia renovável.

3.4 Análise do natural na geração de soluções – Estudos de caso

De forma resumida, a Tabela 1 lista alguns dos principais projetos atuais propostos pelo *Biomimicry Institute* como soluções à problemas em diferentes tipos de construções. De certa forma, estas referências servem como base para a escolha de alternativas de avaliação, decisão e escolha dos projetos a serem aplicados em instalações rurais aplicadas à produção animal.

Tabela 1. Projetos do *Biomimicry Institute* promovedores de soluções por meio da Biomimética.

Nº	Título	Problema	Influência	Solução	País	Ano
1	<i>Elightra</i>	Falta de luz em ambientes temporários como assentamentos	Inspirado por joaninhas	O design do ELIGHTRA permite que ele seja remanejado onde necessário, com a flexibilidade para acomodar mudanças na população e layout. Os painéis solares também coletam e armazenam energia suficiente para permitir que os refugiados carreguem seus dispositivos eletrônicos e negociem por outros recursos com energia excedente, assim encaixando-se na economia informal do assentamento.	EUA	2020
2	<i>EVA</i> (sistema de armazenamento de alimentos resfriados por evaporação)	Desperdício e deterioração de alimentos por falta de refrigeração	Inspirado por elefantes, lebres e raposas; Cupins, abelhas e árvores	A equipe EVA projetou um sistema de refrigeração de baixo custo que não requer eletricidade para operar. Este sistema tem o potencial de resfriamento através de água em tubos de cobre colocados entre finas folhas de espuma úmida. Essa água fria é então misturada com gás amônia e posteriormente aquecida para produzir vapores de amônia de alta pressão para acionar o sistema de refrigeração de absorção de vapor usado para resfriar o espaço de armazenamento. Com este sistema torna-se possível lidar diretamente com o desperdício de alimentos, as mudanças climáticas e a pobreza.	Índia	2020
3	<i>EcoStp</i>	Falta de tratamento de esgotos	Inspirada no estomago da vaca (projeto) e o uso e bactérias anaeróbicas	Essa tecnologia de baixa manutenção produz energia em vez de consumi-la, em comparação aos sistemas de tratamentos convencionais. Este projeto não usa produtos químicos para tratar o esgoto, mas sim microrganismos, plantas e cascalho. Solução econômica e ecológica que trata até 1 milhão de litros de esgoto por dia sem a necessidade de conexão à rede elétrica.	Índia	2019
4	<i>Nextep</i>	Falta de moradia aos estudantes da da Califórnia	Inspirado por caranguejos eremitas, cães e cactos	Projeto para uma unidade habitacional pré-fabricada, dobrável e portátil que visa garantir o acesso a uma habitação adequada, segura e acessível para todos.	Colômbia	2020
5	<i>A sensitive Wall</i> (Uma parede sensível)	Aumento do ruído e do calor em áreas urbanas	Inspirado por sapos de orelhas côncavas, folhas de mimosa e caracóis do deserto	Projeto de uma barreira de ruído verde e sistema de guarda-sol que visa melhorar as condições de vida urbana, fornecendo um sistema de isolamento acústico natural dinâmico e vegetação de elevação para paisagens urbanas.	Taiwan	2020
6	<i>The Moist Brinck</i> (O tijolo úmido)	Mudanças extremas no clima	Inspirado por pelos hidrofílicos da superfície de plantas e na pele do <i>Texas Horned Lizard</i> , que usa a ação capilar para mover a água de qualquer ponto de sua pele até a boca	Projeto criado como um conceito para um material de construção que condensaria a água do ar noturno e a coletaria na superfície como um sistema de resfriamento evaporativo para edifícios. Os tijolos foram projetados para ter uma superfície "peluda" semelhante para maximizar a coleta de água. A forma curvilínea do tijolo não apenas imita os "chifres" do lagarto, mas também permite que cada tijolo se sobreie parcialmente e a seus vizinhos quando eles são empilhados e montados como uma parede.	EUA	2020

Fonte: Biomimicry Institute (2021).

3.5 Aplicações da Biomimética no sistema de produção animal

3.5.1 Concepções construtivas

De modo geral, um dos principais desafios relacionados à ambiência está em promover condições adequadas de conforto térmico, dentro do contexto de bem-estar animal. O estresse calórico, que ocorre quando o animal é exposto a alterações ambientais indesejáveis, como altas temperaturas, elevadas umidades relativas e baixas velocidades do ar, é um distúrbio ocasionado pelo desequilíbrio entre o organismo do animal e o ambiente. É considerado um dos principais desafios em sistemas de produção animal localizados em locais de climas tropical e subtropical (Moraes, Ishihara & Souza, 2020).

Em regiões de clima quente e temperado, o emprego de medidas de aperfeiçoamento do ambiente no interior das instalações é medida importante para superar os efeitos ambientais adversos à produção animal, como altas temperatura e umidade relativa do ar (Nascimento et al., 2014). Em edifícios urbanos, sistemas de resfriamento passivos já são aplicados com sucesso, resultando na redução do consumo de energia elétrica. Firfiris, Martzopoulou e Kotsopoulos (2019) destacam que este tipo de sistema pode ser projetado e utilizado em instalações para bovinos, desde que consideradas necessidades ambientais particulares dos animais e características específicas dos materiais de construção, de modo a serem fornecidas melhores condições ambientais e, conseqüentemente, elevada a produtividade dos animais. Os autores afirmam ainda que diferentes fontes de materiais e técnicas de cobertura podem ser empregadas com sucesso, como a utilização de telhado verde em instalações para bovinos leiteiros, de materiais reflexivos em bezerreiros, dentre outras que podem auxiliar na melhoria do ambiente térmico.

Galama et al. (2020) realizaram um estudo de revisão de literatura com objetivo de descrever mudanças e inovações recentes em sistemas de alojamento para bovinos leiteiras, notadamente em relação ao comportamento dos animais, controle das condições climáticas e emissões de gases causadores do efeito estufa, manejo e destinação de resíduos e eficiência de uso de recursos financeiros. Neste trabalho, os autores fazem algumas considerações: futuros projetos de instalações para bovinos leiteiros podem ser baseados em uma combinação das características benéficas de *Freewalk* e *CowToilet*, bem como com o uso de novas técnicas construtivas; animais com alto rendimento poderão ser mantidos em espaços reduzidos, desde que bem projetados, com presença de cama e piso transitáveis; sensores podem ser utilizados para guiar os animais para áreas específicas das instalações; e dejetos seco e urina devem ser separados, enquanto ferramentas e técnicas como *CowToilet* e captura de gases podem fazer parte do sistema. Estas técnicas construtivas podem ser parte de sistemas agrícolas localizados em solo ou na água, como o caso das fazendas flutuantes.

De acordo com Tabase et al. (2020), o uso de sistemas subterrâneos de distribuição de ar em instalações para suínos possibilita o fornecimento eficiente de ar resfriado e melhora a qualidade do ar, quando comparado com o fornecimento de ventilação via dutos instalados na parte superior da instalação. Neste sistema, o ar entra no interior da instalação por meio de dutos localizados na região do piso e sai por meio de aberturas de exaustão localizadas no teto, permitindo que o excesso de calor seja deslocado para a parte superior, e possibilitando que o consumo energético seja reduzido em até 36%, quando comparado com sistemas de ventilação de entrada difusa. Os autores desenvolveram um modelo CFD (*Computational Fluid Dynamics*) tridimensional para instalações de suínos com sistema UFAD (*Underfloor Air Distribution*), com objetivo de desenvolver técnicas para mitigar as emissões de NH₃ e melhorar qualidade do ar e conforto térmico animal. Os resultados apresentaram boa correlação entre dados simulados e medidos, haja vista que o modelo CFD atendeu aos índices de validação estatística utilizados.

Conforme Alves, Porfirio-da-Silva e Karvate Junior (2019), a inserção de árvores em sistemas pecuários, com objetivo de protegê-los das altas temperaturas, precipitação, ventos e geada, pode melhorar as condições microclimáticas e ambientais. De todos os benefícios proporcionado aos animais por sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris, melhorias na ambiência e bem-estar animal, que estão fortemente correlacionados, são uma tendência de mercado, e podem ser utilizados como elementos de marketing ambiental para a atividade pastoril. Logo, serem considerados ferramenta de otimização do diferencial já existente na bovinocultura brasileira.

3.5.2 Emprego de materiais sustentáveis

De acordo com Van der Lugt et al. (2006), os materiais de construção deixaram de ser selecionados com base apenas em requisitos funcionais, técnicos e financeiros, uma vez que aspectos ambientais e de sustentabilidade passaram a influenciar a escolha do sistema construtivo e dos materiais empregados na construção civil. Especificamente em relação ao meio rural, o uso de materiais alternativos presentes no local se apresenta como uma solução às inúmeras dificuldades que podem surgir, relativas principalmente aos custos e logística dos materiais de construção, quando adquiridos em estabelecimentos comerciais.

Estes materiais renováveis ou alternativos podem ser empregados como elementos de fundações, elementos estruturais (vigas e pilares), painéis de vedação, estruturas de cobertura, e/ou como a própria cobertura (Van der Lugt et al., 2006). Dentre estes materiais, o bambu (*Bambusa*), espécie da família das gramíneas, é um exemplo de material com potencial e relevância ambiental e sociocultural, e que vem ganhando espaço na sociedade como material complementar ao uso de madeiras (Guilherme, Ribeiro & Cereda, 2017).

Desde meados do século XX, as transformações tecnológicas e mudanças de hábitos vem ocorrendo com maior intensidade e rapidez, levando à um gradual abandono de saberes populares, como o uso do bambu como material de construção. Deste modo, mesmo apresentando grande potencialidade de uso, o bambu acaba sendo subutilizado, em virtude da escassez de conhecimentos técnicos, inclusive os tradicionais, sobre o seu emprego. A utilização inapropriada e/ou inadequada do bambu fez com emergisse a cultura de que se trata um material de baixa qualidade, utilizado apenas por populações rurais, que fazem uso do mesmo em virtude de limitações financeiras, que inviabilizam a compra de outros materiais construtivos com origem industrial (Lorenzetti et al., 2017).

3.6 Aplicação de projetos de Biomimética na produção animal brasileira

Com base nos trabalhos abordados neste estudo, na proposta de implantação da Biomimética como ferramenta de otimização de estruturas rurais e na identificação da problemática em questão, observa-se a existência de uma relação promissora entre as pesquisas mencionadas (Tabela 1) e a produção animal.

No Brasil, sistemas extensivos de produção de bovinos, que dependem basicamente de pastagens e sais minerais, ainda são uma realidade presente. Nestes sistemas, os animais buscam se refugiar da radiação solar direta em locais com sombra, seja esta natural (árvores) ou artificial (sombrites), que podem reduzir os efeitos negativos do estresse térmico em até 50% (Collier, Dahl & VanBaale, 2006; Dal Más et al., 2020). Neste caso, a utilização de estruturas não fixas, como as do projeto “*Nextep*” do *Biomimicry Institute*, pode atender a produção extensiva como bezerreiros, ou até mesmo como baias, em locais sem nenhuma proteção estrutural. Uma vez que se trata de estruturas removíveis e flexíveis, estas podem ser realocadas durante o processo de rotação de piquetes, sendo esta uma outra vantagem do seu uso (Biomimicry Institute, 2021e). Com relação a iluminação, o projeto “*Elightra*” do *Biomimicry Institute* pode atender a produção extensiva com a iluminação provisória, que pode ser remanejada sempre que necessário (Biomimicry Institute, 2021f).

De modo geral, instalações para bovinos, suínos e aves necessitam de sistemas de ventilação e/ou resfriamento, que tem o objetivo de proporcionar aos animais condições ambientais mais próximas de sua zona de conforto térmico ou de termoneutralidade (Souza, Biesus & Souza, 2016). Neste sentido, pode-se inferir que alguns projetos do *Biomimicry Institute*, como “*Evaporative Cooled Food Storage System*” – EVA (Biomimicry Institute, 2021g), “*The Moist Brick*” (Biomimicry Institute, 2021h) e “*A Sensitive Wall*” (Biomimicry Institute, 2021i) podem ser aplicados nas instalações animais ora citadas, como forma de atender os requisitos de ventilação e/ou resfriamento desejados, por meio de projetos de baixo custo sem consumo de energia elétrica, do uso de materiais de construção que coletam água pela superfície por meio do sistema de resfriamento evaporativo, e de um sistema de isolamento acústico natural dinâmico de vegetação, respectivamente.

É importante destacar ainda que a quantidade e qualidade dos dejetos produzidos pelos animais nas instalações estão

associados com as características construtivas das instalações e com manejo realizado pelo produtor (Souza et al., 2016). Por outro lado, projetos de Biomimética como o “*EcoStp*”, que prevê o uso de microrganismos, plantas e cascalho para tratamento de esgoto, em vez de produtos químicos, despontam como uma solução econômica e ecológica para o tratamento dos resíduos gerados pelas diversas atividades de produção animal, tendo ainda a vantagem da não necessidade de conexão a rede elétrica (Biomimicry Institute, 2021j).

4. Considerações Finais

Por meio deste estudo teórico, que teve como finalidade realizar um levantamento de novas concepções construtivas disponíveis e promover a sua aplicabilidade em edificações voltadas à produção animal, conclui-se que há necessidade da implantação da biomimética como processo de otimização das instalações, como forma de tornar a produção mais sustentável.

Os estudos sobre Biomimética ora abordadas se consolidam como referências para projetos de edificações rurais, de modo a produzir estruturas que garantam o bem-estar animal, a sustentabilidade no processo de produção e o baixo custo de implantação, quando comparados com os projetos comumente encontrados nas propriedades rurais.

A execução da metodologia Biomimética tem como objetivo a criação de projetos com uma visão multidisciplinar, promovendo desta forma o aceite por setores mais conservadores e puristas. Neste sentido, a realização de estudos de casos futuros possibilita identificar e promover a influência da Biomimética, com o objetivo de solucionar às problemáticas ligadas ao meio ambiente e as edificações rurais.

Agradecimentos

Os autores agradecem às Agências de Fomento Brasileiras (CAPES, CNPq e FAPEMIG) por oferecer subsídio ao projeto, e a Universidade Federal de Viçosa e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus São João del-Rei, pelo apoio à realização do trabalho.

Referências

- Aguiar, R. R. L. R., Queiroz, N. & Araújo, R. B. (2017). *Design, Biônica e Biomimética*. Editora Blucher.
- Alves, F. V., Porfírio-da-Silva, V., & Karvate Junior, N. (2019). Bem-estar animal e ambiência na ILPF. In: Bungenstab, D. J., Almeida, R. G., Laura, V. A., Balbino, L. C., Ferreira, A. D. (Ed.). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Brasília: Embrapa.
- Arruda, A. J. V. (1994). O que é Biônica? *Revista Arte Comunicação*, 1(1), 19-24.
- Baêta, F. C., & Souza, C. F. (2010). *Ambiência em Edificações Rurais - Conforto Animal*. Editora UFV.
- Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow & Company.
- Biomimicry Institute. (2021a). *What-is-biomimicry?* <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>
- Biomimicry Institute. (2021b). *About the Institute*. <https://biomimicry.org/about/>
- Biomimicry Institute. (2021c). *Biomimicry Global Design Challenge*. <https://biomimicry.org/globaldesignchallenge/>
- Biomimicry Institute. (2021d). *The Eastgate Center designed by Mick Pearce uses passive and energy-efficient mechanisms of climate control to cool residents*. <https://asknature.org/innovation/passively-cooled-building-inspired-by-termite-mounds/>
- Biomimicry Institute. (2021e). *Nextep – 2020 Global Design Challenge Honorable Mention*. <https://biomimicry.org/solution/nextep/>
- Biomimicry Institute. (2021f). *Elightra – 2020 Global Design Challenge Finalist*. <https://biomimicry.org/solution/elightra/>
- Biomimicry Institute. (2021g). *Evaporative Cooled Food Storage System (EVA)*. <https://biomimicry.org/solution/eva/>
- Biomimicry Institute. (2021h). *The Moist Brick*. <https://biomimicry.org/solution/the-moist-brick/>
- Biomimicry Institute. (2021i). *A Sensitive Wall*. <https://biomimicry.org/solution/a-sensitive-wall/>

- Biomimicry Institute. (2021j). *EcoStp*. <https://biomimicry.org/solution/ecostp/>
- Bonsiepe, G., Kellner, P. & Poessnecker, H. (1984). *Metodologia experimental: Desenho industrial*. CNPq.
- Brasil. (2020). Portaria n. 375 de 23 de novembro de 2020. *Aprova o Plano Estratégico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para o período de 2020 a 2031*. Diário Oficial da União.
- Bushan, B. (2009). Biomimetics: Lessons from nature – an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1893), 1445-1486.
- Collier, R. J., Dahl, G. E. & VanBaale, M. J. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of dairy science*, 89(4), 1244–1253.
- Costa, G. S. & Marvulli, M. V. N. (2020). Soluções alternativas para o tratamento, disposição ou reutilização de dejetos animais provenientes de atividade suíncola no Brasil. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(3), 1471–1479.
- Dal Más, F. E., Debiage, R. R., Schuh, B. R. F. & Guirro, E. C. B. D. P. (2020). Estresse térmico em bovinos leiteiros—Impactos, avaliação e medidas de controle. *Revista Veterinária em Foco*, 17(2), 42–55.
- De Mori, C., Camargo, A. C., Novo, A. L. M., Palhares, J. C. P., Mergamaschi, M. A. C. M., Barioni Junior, W. & Vinholis, M. M. B. (2020). *Índice de atualização tecnológica para propriedades leiteiras: IAT-Leite*. Embrapa Pecuária Sudeste.
- Deluca, D. (2020). The power of the Biomimicry Design Spiral – Institute Biomimicry. <https://biomimicry.org/biomimicry-design-spiral/>
- Durai Prabhakaran, R. T., Spear, M. J., Curling, S., Wootton-Beard, P., Jones, P., Donnison, I. & Ormondroyd, G. A. (2019). Plants and architecture: the role of biology and biomimetics in materials development for buildings. *Intelligent Buildings International*, 11(3-4), 178–211.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2018). *Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira*. Embrapa.
- Firfiris, V. K., Martzopoulou, A. G. & Kotsopoulos, T. A. (2019). Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: A critical review. *Energy and Buildings*, 202, 109368.
- Galama, P. J., Ouweltjes, W., Endres, M. I., Sprecher, J. R., Leso, L., Kuipers, A. & Klopčič, M. (2020). Symposium review: Future of housing for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 103(6), 5759–5772.
- Guilherme, D. O., Ribeiro, N. P. & Cereda, M. P. (2017). Cultivo, manejo e colheita do bambu. In: Drumond, P. M. & Wiedman, G. *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje.
- Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos – IBEC. (2019). *Guia completo das novas tecnologias na área de Engenharia Civil*. <https://ibecensino.org.br/materiais-gratuitos/guia-de-novas-tecnologias-em-engenharia-civil/>
- Inthurn, C. (2019). *Biomimetismo e o design de produtos: As soluções estão na natureza*. Kindle.
- Jensen T. E. & Andreasen M. M. (2010). Design Methods in Practice - Beyond the ‘Systematic Approach’ of Pahl & Beitz. *Proceedings of the International Design Conference*, Dubrovnik, Croatia, 10.
- López, M., R. Rubio, S. Martín, & B. Croxford. (2017). How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 692–703.
- Lorenzetti, E. R., Campos, T. K., Olic, A. B., Oliveira, P. C., Almeida, R. O. & Martins, R. C. (2017). Bambu como recurso para tecnologias sociais na Zona da Mata mineira. In: Drumond, P. M. & Wiedman, G. *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje.
- Meira, G. L. (2008). A Biomimética utilizada como ferramenta alternativa na criação de novos produtos. *Anais do Segundo Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí*. Universidade do Vale do Itajaí.
- Moraes, E. R., Ishihara, J. H. & Souza, D. E. S. (2020). Effect of well-being and thermal comfort on livestock production: a literature review. *Research, Society and Development*, 22(9), 1–22.
- Nascimento, G. R., Nääs, I. A., Baracho, M. S., Pereira, D. F. & Neves, D. P. (2014). Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(6) ,658–663.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. S. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da Pesquisa Científica*. UFSM.
- Schneider, B. (2010). *Design – Uma introdução*. Editora Blucher.
- Silva, Z. M. C., Oliveira, A. M. S. & Gonzaga, L. G. M. (2019). A busca por princípios biomiméticos em cupins do Cerrado para aplicação em edificações de baixo consumo energético. *Revista UniAbeu*, 12(32), 126-142.
- Souza, B. B., Silva, I. J. O., Mellace, E. M., Santos, R. F. S., Zotti, C. A. & Garcia, P. R. (2010). Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 6(2), 59-65.
- Souza, J. C. P. V. B., Biesus, L. L. & Souza, M. V. N. (2016). *Gestão da água na suinocultura*. Embrapa Suínos e Aves.
- Tabase, R. K., Bagci, O., De Paepe, M., Aarnink, A. J. & Demeyer, P. (2020). CFD simulation of airflows and ammonia emissions in a pig compartment with underfloor air distribution system: Model validation at different ventilation rates. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105297.

Trombetta, L. J., Turchetto, R., Rosa, G. M., Volpi, G. B., Barros, S. & Silva, V. R. (2020). Resíduos orgânicos e suas implicações com o carbono orgânico e microbiota do solo e seus potenciais poderes poluentes. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 43996-44005.

Van der Lugt, P., Van den Dobbelsteen A. A. J. F. & Janssen, J. J. A. (2006). An environmental, economic, and practical assesment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, 20(3), 648-656.

World Business Council for Sustainable Development – WBCSD. (2021). *Energy Efficiency in Buildings*. <https://www.wbcd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Sustainable-Cities>

Zari, M. P. (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. *The SB07 NZ Sustainable Building Conference*. SB07 Auckland.