

A importância do desenho digital como ferramenta para projetos em biônica

The importance of digital design as tool for bionic projects

PIMENTEL, Bento Gustavo¹

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo

O presente trabalho contribui para o entendimento do papel do desenho multimodal no método de Design, conduzindo o processo ao desenvolvimento de produtos fundamentados por uma base conceitual naturalista. Objetivado a acrescentar benefícios à atividade de projeto, o estudo reitera que sua realização está aliada a aspectos investigativos que propiciam a geração criativa e racional de soluções, mediante uma aquisição referencial dos Sistemas Naturais. São utilizadas ferramentas de renderização 2D e 3D para análise com base em sistemas visuais, frente ao referencial teórico proposto à discussão. Os resultados demonstraram a importância do desenho e da análise gráfica em recortes bioinspirados de geração de projeto.

Palavras-chave: Desenho, Biônica, Design de Produto.

Abstract

This paper contributes to the understand the role of drawing in multimodal methods of Design, by leading the process on a naturalistic conceptual basis. Towards to add benefits to the project activity, the study reiterates that its achievement it coupled with investigative aspects that provide creative and rational generation to solutions through a reference acquisition of Natural Systems. 2D and 3D rendering tools are used for analysis based on visual systems, compared to theoretical framework proposed for discussion. The results showed the importance of drawing and graphical analysis in bioinspired scenarios of project activity.

Keywords: Drawing, Bionics, Product Design

1 Introdução

Esse artigo apresenta um estudo experimental com contribuição à novas investigações no processo de Design voltadas ao método da Biônica. Apresenta relevância em contextos acadêmicos de iniciação á Pesquisa em Design, marcado por indagações ao método, caracterização e aumento do entendimento sobre o objeto de pesquisa, avaliação constante da pertinência das ferramentas utilizadas, e afirmação das teorias contribuintes no espaço reflexivo gerado pelos resultados.

¹ Doutorando em Desenvolvimento Sustentável no NAEA/UFPa, mestre em Design & Tecnologia pelo PGDesign/UFRGS (2015) e Bacharel em Projeto de Produto

Mesmo não atendendo uma programação contínua em um determinado recorte de pesquisa, esse estudo apresenta várias questões que conferem importância ao pesquisador no que tange ao aumento da importância de sua atividade inicial. Tais questões mais abrangentes serão apresentadas posteriormente.

Como marco teórico/metodológico a conduzir a descrição das atividades, percebe-se na Biônica uma área de pesquisa de grande abrangência com base tecnológica, capaz de beneficiar tanto organizações que almejam o aumento da qualidade de suas produções a partir da geração de propostas de base científica, quanto à pesquisa na área técnico-científica, dado a possibilidades de interlocução ou mesmo a repercussão com a inovação.

Considera-se a base da abordagem da metodologia de projeto em alguns setores de ensino de Design no Brasil, a Engenharia Simultânea (BACK; OGLIARI, 2000) sedimenta benefícios à compreensão das variáveis produtivas internalizadas nos sistemas de avaliação de base estatística, que, ampliados a partir da internalização de novos processos valorados a partir influência da questão ambiental (VEIGA, 2010), maximizam a geração de soluções bem avaliadas no campo de projeto.

É verificado que a interação de várias modalidades de investigação em Design a partir do assentamento de conceitos de projeto (AMARAL et al., 2006) contribui para um bom resultado no desenvolvimento de soluções de projeto. Para uma aquisição de melhores soluções, tópicos de criatividade e funcionalidade (BRATTSTRÖM, et al., 2011), e optando por um viés de condução para assentar uma pertinência sob questões de fundo naturalista (COSTA, et al. 2010), são abarcadas também etapas do processo com auxílio de expressão gráfica (SCHÖN; WIGGINS, 1992), com interação digital híbrida (NARDELLI, 2007), ou somente de fundo artístico (DIMAS, 2009).

Nesse contexto, segundo Dimas (2009), a Biônica está caracterizada como corrente de alta tecnologia entre várias hipóteses no cenário da Bioinspiração (NAGEL, et al., 2010) para o desenvolvimento de produtos, processos, ou mesmo incrementos na esfera da instantânea da reposição mercadológica, adquirindo importância estratégica para inovação nas organizações.

Essa proposta interdisciplinar apresenta considerações para uma investigação que utiliza os Sistemas Naturais como aporte à Bioinspiração no desenvolvimento de um sistema mecânico de sutura baseado em uma formiga *Atta sp.* A transferência de informações de um

sistema a outro resgata várias contribuições, tais como modelos de utilidade² e produtos voltados à divulgação científica (PIMENTEL, 2015).

Para isso, a questão norteadora de trabalho investigará as possibilidades do estudo da Biônica para aquisição de modelos iniciais em um percurso de pesquisa, utilizando uma formiga como amostra para análise a partir da perspectiva gráfica digital na geração de projetos de grampos de sutura experimentais. Compreende-se assim, várias áreas de projeto na intersecção com ciências cognitivas atuando no método de Design, de modo a somar resultados para a verificação de sua colaboração no desenvolvimento do processo.

A pesquisa em questão abordou uma revisão de literatura dentro do recorte proposto utilizando o desenho (SCHÖN; WIGGINS, 1992, CROSS, 2001); Design Digital (TERZIDIS, 2006, NARDELLI, 2007); utilização dos Sistemas Naturais como referencial para o desenvolvimento de projetos (DIMAS, 2009, DETANICO, et al., 2010, DOCZI, 2012); métodos para aumentar a compatibilidade entre dados e problema utilizando simulação (PIMENTEL, 2015), e abordagens disciplinares flexíveis para aquisição de diferencial na transcrição de dados na geração de conceitos para o projeto.

Foram utilizados os softwares *Geomagic Studio*® e *Autodesk 3Ds Max*® na análise dos resultados adquiridos como objeto virtual de estudo em etapas relativas à decodificação visual na análise da formiga.

Como referencial da pesquisa no estreitamento entre Sistemas Naturais e produção de artefatos, verifica-se a recorrência do tema no campo de assentamento da Teoria e História do Design. Assim, como contribuição da investigação do processo, limita-se a descrevê-lo a partir da perspectiva interdisciplinar no design, a somar com as verificações realizadas em Schön e Wiggins (1992), Dorst (1997), Cross (2001) e Oxman (2001).

2 Referencial Teórico

2.1 Papel do designer reflexivo nas organizações

Mediante uma compreensão em Oxman (2001), é verificado que no contexto do presente trabalho, as propriedades cognitivas do Design (e em particular do aprendizado do Design) possuem um grande espaço a preencher em sua descrição científica. Tal lacuna é percebida em pesquisas na área, com uma forte contribuição no eixo da Teoria do Design em Cross (2001), e Dorst (1997), mediante a mitigação da compreensão acerca das possibilidades

² Número de registros respectivamente: MU9002473-7 e MU9102934-1 (INPE, 2011, 2012).

que o desenho na sua modalidade representacional em resultado digital ou manual, possui na tarefa intelectual da realização do Design.

Em Oxman (2001), é verificado que nos *bureaus* de design são recorrentes dois modelos de práticas, e que apresentam sua correlação com problemas relacionados a esta pesquisa: i) à transferência tecnológica no sentido educacional em um cenário acerca da prática profissional (SCHÖN; WIGGINS, 1992), como contribuinte que aproxima o ensino a realidade do designer atuante no mercado, e ii) à transferência tecnológica no sentido interno, em um cenário em que aprendizes e profissionais necessitam interagir com colaborações tangíveis e intangíveis para o aperfeiçoamento e continuidade das práticas organizacionais relacionadas à atividade do design (FRIEDMAN, 2000), onde jovens e profissionais experientes recorrem a tecnologia como suporte as práticas de design no ambiente corporativo.

É percebido, que, devido à relativa falta de experiências dos aprendizes na atividade com os métodos de design, o conteúdo da construção conceitual percebido no desenvolvimento de projeto possui uma habilidade mais exploradora, ao utilizar-se de critérios emergenciais, ‘tipologias emergenciais’ (OXMAN, 2001, p. 278), sem uma formalização racional anterior a elaboração do escopo de projeto, contribuindo intuitivamente para seu teor inovador no sentido inventivo (BRATTSTRÖM, et al., 2011).

A participação do aprendiz encontra sua justificativa dentro de um modelo teórico de inovação em organizações, importante instrumento para a melhoria da competitividade das empresas (CASTELLACI, 2008), devido à necessidade de aprimorar o processo adaptativo entre: i) redução da variabilidade de incertezas; e ii) necessidade de aumentar o nível de criatividade nas soluções geradas em nível estratégico, tático e operacional do design (MOZOTA, 2011).

A competitividade é a capacidade das empresas se manterem no mercado, atingindo uma posição competitiva superior aos concorrentes. Para serem competitivas, devem investir na melhoria constante dos processos e no desenvolvimento de novos produtos, oferecendo um valor superior para os consumidores com produtos diferenciados (PLENTZ; BERNARDES; FRAGA, 2015).

Dessa forma, é verificada nas instituições, a necessidade de incrementar seu contingente informacional interno, contribuindo a um alinhamento inclinado à sinergia organizacional (BRATTSTRÖM, et al., 2011).

2.2 Natureza como aporte no projeto de design

A partir de uma descrição brevemente apresentada em Pimentel e Silva (2013), verifica-se um conteúdo de aporte científico para o entendimento da inovação tecnológica atrelada à pesquisa em Sistemas Naturais, utilizando o Design como Ciência (CROSS, 2001) habilitada à criação de novos produtos no sentido da inovação apresentada por Ardayfio (2000).

Na presente análise será utilizada a Biônica como método no desenvolvimento de produtos. A partir de 1960, a Biônica foi utilizada como campo de estudos nos setores militares estadunidenses ao contribuir em resposta a problemas técnicos, a partir da Bioengenharia e Cibernética. Uma definição seria: *‘Ciência dos sistemas cujo funcionamento tem sido copiado de Sistemas Naturais, ou em que apresentam características específicas de Sistemas Naturais, ou que lhes são análogos³’* (DIMAS, 2009, p. 23).

O método de Design atrelado a Biônica (KINDLEIN JÚNIOR, 2005), ocupa no cenário da bioinspiração, um espaço importante, alocado junto a outros métodos e concepções de atividade projetual, tal como a Biomimética e o Biodesign (PIMENTEL, 2015).

Na criação de novos modelos, a Biomimética (DIMAS, 2009) teria a validade de transportar suas observações e aplicações de forma a serem mimetizadas às resoluções, em um âmbito geral de possibilidades. Como medida, pode ser verificada em análise tendo como base valores ecológicos, inclusive no julgamento de sua efetividade, ou seja, no âmbito da compreensão. Finalmente, como avaliador, contribui para a construção da continuidade mediante uma compreensão profunda, uma vez que estaria apta a realizar experimentos e avaliá-los. Sua compreensão é dada conforme apresentado na figura 01:

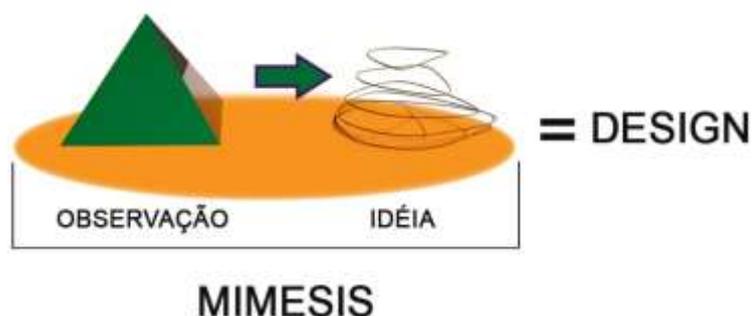


Figura 01: Esquema sobre conceitos de mimese e design
Fonte: adaptação dos autores de Pimentel e Silva (2013)

³*‘Ciencia de los sistemas cuyo funcionamiento há sido copiado de sistemas naturales, o en la que presentan características específicas de sistemas naturales, o que les son análogos’ análogos’* – Traduzido pelos autores.

Por fim, têm-se o Biodesign (VILLAREAL, 2012), que é percebido na importância da criação de novos métodos, novos modelos teóricos conceituais de Design, com base em três níveis de interpretação, i) cópia fiel, ii) aplicação de princípios, e iii) inspiração, baseados na sistematização da organização dos Sistemas Naturais.

Conforme as análises de literatura, tais termos verificam e confirmam a transcrição de informações, eventos, e formas de avaliar o ciclo produtivo do Design. Correlacionados com a investigação dos biociclos dos Sistemas Naturais (MCDONOUGH; BRAUMGART, 2002, MANZINI; VEZZOLI, 2008), encontrando soluções em concepções, mitigações de resultados e avaliações de suas pertinências para as estratégias de Design contemporâneo (SACHS, 2007). São de fato abordagens tecnologicamente orientadas para aplicar as lições de Design a partir da natureza buscando solucionar os problemas do homem (DETANICO, et al., 2010).

2.3 Design Digital

Dentro desse contexto ligado ao aumento de criatividade (BRATTSTRÖM, et al., 2011), em que benefícios são visualizados a partir da utilização de recursos gráficos nas organizações para uma maior dinamização dos processos envolvidos na geração de produtos (SCHÖN; WIGGINS, 1992), e onde repercutem questões naturalistas de várias correntes (COSTA, et al., 2010), o Design Digital (OXMAN, 2001) encontra grande recorrência como área tecnológica sedimentar ao auxílio de problemas no percurso dos projetos.

Nesse quesito, uma relação direta com a problemática biológica na microescala (SABIN; PETERS; PETERS, 2013) é verificada na geração de benefícios permanentes para a aquisição de novos modelos de ambientes de modelação virtual, novos processos computacionais evolutivos voltados à geração de soluções (NARDELLI, 2007), e mesmo um assentamento epistemológico sobre a questão universal do projeto de artefatos e ambientes (SACHS, 2007) em uma era voltada a questões ecológicas.

De adversidade quanto ao grau de dificuldade, compreensão e desenvolvimento, tais ferramentas são compreendidas em Lupton e Phillips (2008) entre os novos fundamentos do Design, a contribuir diretamente na expansão das aplicabilidades em áreas de interlocução com a geração de inovação.

Interoperabilidade, estruturação entre dados e problema, estabelecimento de parâmetros, possíveis flutuações e qualificação de resultados, são considerados aspectos chave na utilização de ferramentas de leitura, desenho digital e modelagem, como

Grasshopper®, *Autodesk 3DsMax®* e *Geomagic®*.

Através de uma interface similar ao *3DsMax* na estruturação de malhas 3D, o *Geomagic Studio 10®* possibilita o tratamento de dados disponibilizando opções de suavização algorítmica para a aquisição da exatidão na determinação da locação dos pontos, a partir de uma incursão por estratégias erosivas em nível de formação da superfície 3D (WEISE, *et al.*, 2011). Uma incursão de tal tipo é realizada em Pimentel (2015) a partir da estruturação de vários modelos a partir da simulação do processo de compostagem no percurso de projeto de produto, conforme na figura 02:

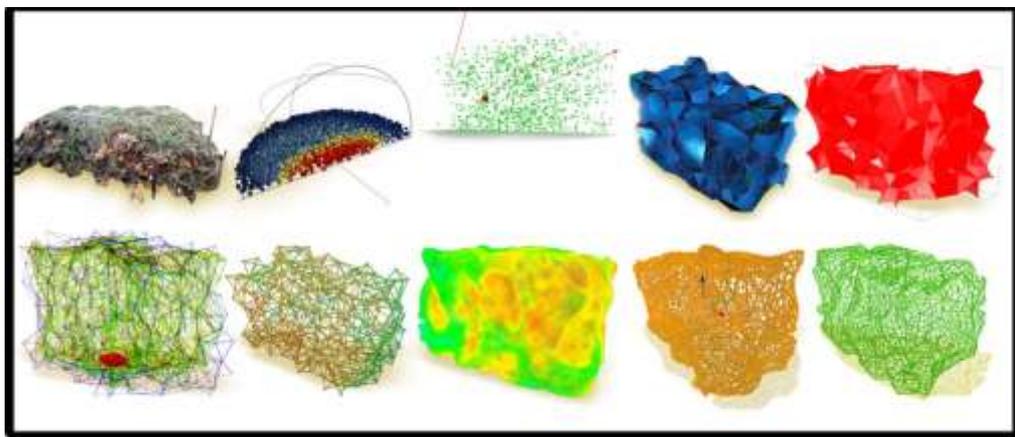


Figura 02: Comparação entre evento observado e frames das simulações desenvolvidas
Fonte: Pimentel (2015)

Com possibilidade de avaliação dos modelos gerados e utilizando as possibilidades da Análise Visual (FISCHER, 2009, PETERS, 2013), uma comparação pode ser realizada mediante diretrizes metodológicas para a aquisição qualitativa, quantitativa de resultados e geração de parâmetros de projeto de produto.

Complementarmente, o princípio denominado Dinergia também utilizado na pesquisa multidisciplinar relacionada à transferência de conhecimentos a partir dos Sistemas Naturais, apresenta uma importância para análises gráficas. A utilização desse método (DOCZI, 1982), ocorre mediante sua recorrência em campos diversos da produção de projetos. Mediante transcrição geométrica, verificam-se a relação entre forma, eventos dinâmicos e mecânicos, relacionados à transferência de força, e descrições basilares da análise física compreendida em princípios clássicos e modernos.

3. Método de Trabalho

Primeiramente foram selecionadas cinco amostras de formigas da mesma espécie, identificadas, enumeradas, e organizadas em suporte para observação e digitalização. As mesmas foram conservadas em recipiente com álcool etílico, na qual a abertura das mandíbulas foi induzida com o uso de pinça entomológica, utilizando-se um microscópio estereoscópio para a visualização da área.

As amostras depois de preparadas foram submetidas no scanner tridimensional - *Digimill 3D*® com lente de 25 mm e resolução de 0.01 entre os pontos adquiridos. O scanner em questão tem o seguinte princípio de funcionamento:

O *Digimill 3D*® é um equipamento CNC (Controlado Numericamente pelo Computador), o qual possui dois cabeçotes, um para usinagem e outro para digitalização, ou seja, trata-se de um equipamento híbrido fresadora CNC e scanner tridimensional a laser. Em seu funcionamento, o scanner 3D movimenta-se sobre determinada peça no plano dos eixos x e y, através do CNC, enquanto que o cabeçote a laser vai medindo a altura no eixo z. Como resultado da varredura são obtidos arquivos de textos com os pontos da superfície do objeto descritos em coordenadas (x, y, z), ou seja, a já definida nuvem de pontos. Pode-se controlar a resolução (espaçamento entre os pontos), a qual é função da precisão de posicionamento nos eixos CNC (SILVA, 2006, p. 99).

Nessa etapa, se verifica um resultado difuso no estabelecimento de um padrão de medida para o desenvolvimento de um projeto de grampo de sutura, mediante a variabilidade de uma amostragem selecionada, à outra. Assim, afunila-se o estudo a uma abordagem quantitativa a partir de uma opção por métodos estatísticos, os quais são baseados em média, variância e desvio padrão entre as amostragens.

As amostras foram digitalizadas a partir dos dados oriundos do scanner 3D, sendo posteriormente processadas com o uso do software *Geomagic Studio 10*®, gerando modelos conforme figura 03:

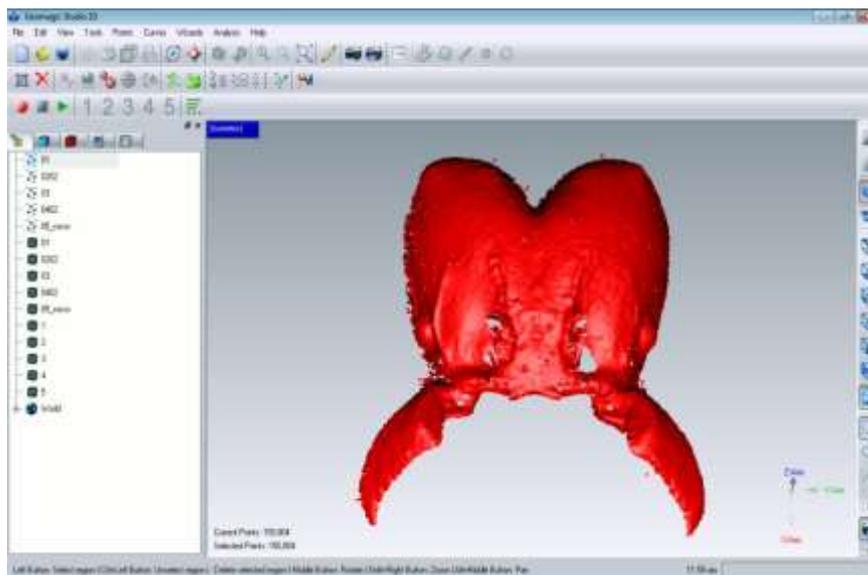


Figura 03: Manipulação digital da amostra no editor Geomagic Studio 10
Fonte: Os autores (2012)

Para uma correlação entre análise de medidas, investigação gráfica e mecânica, transportou-se o modelo digitalizado tridimensionalmente convertido em formato ‘.obj’ do *Geomagic Studio*® para a interface do *Autodesk 3Ds Max*®. Utilizando as possibilidades assentadas pela Análise Visual (FISHER, 2009) relações formais são adquiridas com a análise da amostra, captando dados de formato digital em polígonos. A abordagem da Dinergia em estudos gráficos (DOCZI, 1982) contribui em um aspecto *formalista* à obtenção de um princípio de investigação gráfica norteador à condução de projeto e avaliação de base científica, a prosseguir em estudo por meio de vários editores a partir do manuseio vetorial gráfico em 2D.

4 Resultados

Nesse contexto, apresenta-se um estudo gráfico como resultado investigativo na geração hipóteses, presumindo-se que a área da cabeça da formiga está diretamente ligada à quantidade de força aplicada na mandíbula, relacionada à caracterização dos materiais a serem escolhidos durante futuras etapas de P & D - Pesquisa e Desenvolvimento (ARDAYFIO, 2000).

Portanto, com intuito topográfico, e de forma a estabelecer dados basilares à investigação mecânica no campo de Design de produtos, foi realizada uma análise com base em um método gráfico, estabelecendo-se a correlação entre anatomia da formiga com a proporção áurea, como verificado na figura 04:

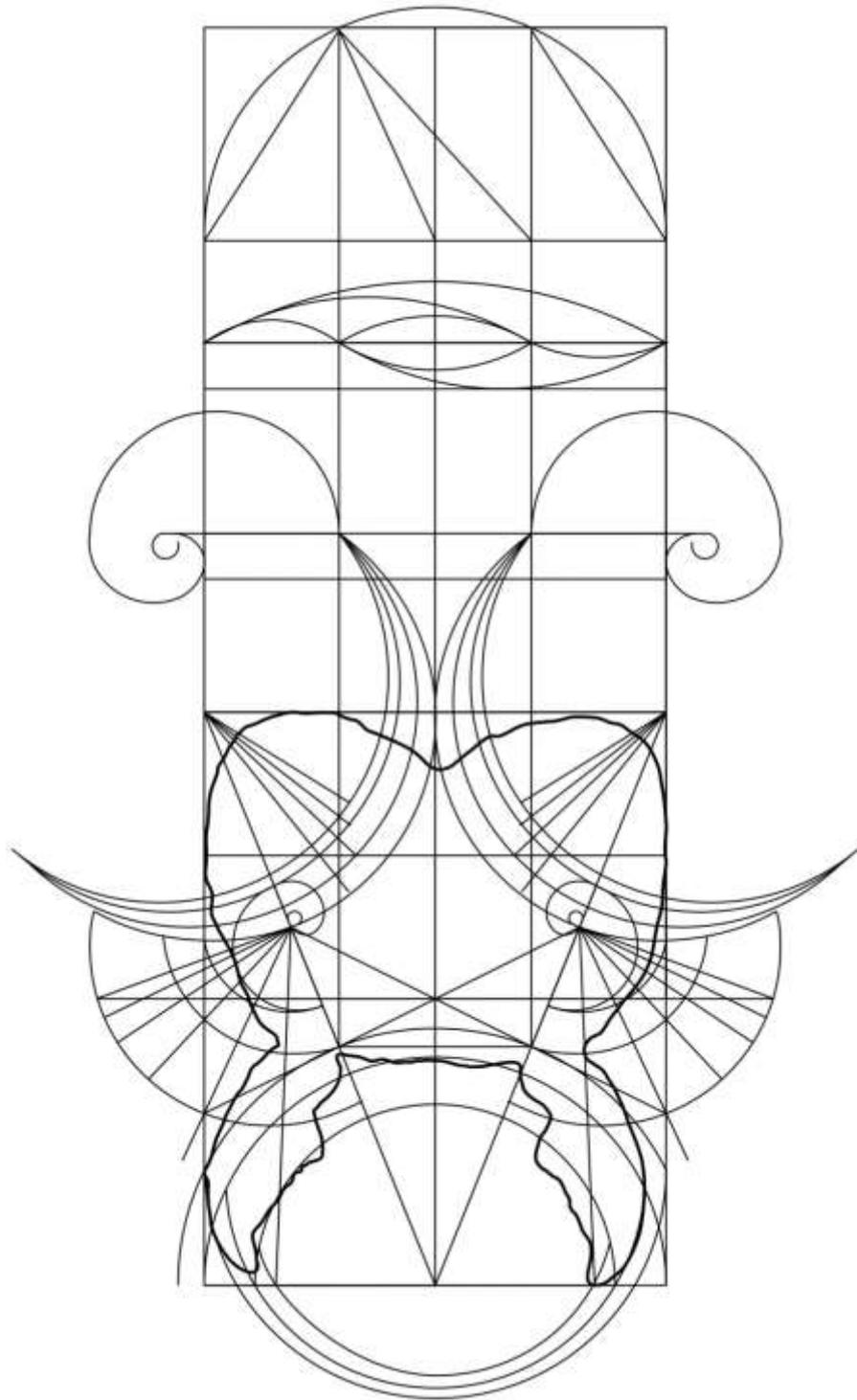


Figura 04: Análise da construção da seção áurea sob a anatomia da cabeça da formiga *Atta sp.*
Fonte: Os autores (2012)

O resultado apresentado no desenho acima permite observar que existe proporção direta entre o comprimento da mandíbula e o diâmetro da cabeça da formiga. Da mesma forma, a mandíbula quando aberta possui a largura duas vezes maior que sua altura. Assim,

através do entendimento de proporções naturais como essas, torna-se possível adquirir princípios de analogia de grande pertinência conceitual e operacional no desenvolvimento de novos produtos a partir dos Sistemas Naturais (PIMENTEL, 2015), utilizando a investigação de base científica voltada ao Design (CROSS, 2001). Cita-se como exemplo, os grampos de sutura (INPE, 2011, 2012) em um universo de elementos de junção de diferentes tamanhos, os quais podem servir de similares em incursões de otimização funcional e dimensional.

Salienta-se que o processo de identificação das partes da formiga foi facilitado pelo uso das ferramentas escolhidas, que possibilitaram a avaliação investigativa a partir da Análise Gráfica (FISHER, 2009) tal como apresentado acima. Assim, um escopo de projeto conduzido a partir da Biônica é reiterado.

5 Conclusão

A análise da amostragem a partir descrição da geometria por meio da Análise Gráfica e manuseio em ambiente 3D contribuiu para a melhor compreensão da aplicação de proporções dos Sistemas Naturais no desenvolvimento de produtos.

O método pode demonstrar, também, a importância do desenho e da transcrição de conhecimento da natureza para o Design, a partir do princípio de Dinergia. Compreende-se, portanto, a validade dos Sistemas Naturais para o desenvolvimento de projetos econômicos, estéticos e funcionais.

Confirmam-se os benefícios da utilização de várias modalidades de estudos durante o processo de pesquisa e desenvolvimento de design, a partir de um aporte multidisciplinar, que muitas vezes, sem possuir a densidade tecnológica necessária, pode ser deduzido e descrito a partir de ferramentas mais intuitivas, sem apresentar incongruência frente ao aporte teórico/metodológico do projeto.

As diferentes formas de transcrever o conhecimento, a partir do estudo dos Sistemas Naturais, possuem correlação em fases conceituais e avaliadoras do processo de Design. Oferece, portanto, possibilidades amplas de intervenção e estudo da atividade para a compreensão de seus benefícios no desenvolvimento de projetos de produtos.

Referências

AMARAL, D. C. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos:** uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

ARDAYFIO, D. D. Principles and Practices of Design Innovation. **Technological Forecasting and Social Change**. Volume: 64, Issue: 2-3, Publisher: Elsevier Science Inc, Pages: 155-169, 2000.

ARDAYFIO, D. D. Principles and practices of design innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 64, Issue 2-3, p. 155-169, 2000.

BRATTSTRÖM, A. LÖFSTEN, H. RICHTNÉR, A. **Creativity, trust and systematic processes in product development**. Science. Science Direct, 2011.

CROSS, N. From a design science to a design science to a design discipline: understanding designerly ways of knowing and thinking. **Design Issues**. Volume 17, Issue: 3, Publisher, The Massachusets Institute of Techonology Press, p. 49-55, 2001.

COSTA, A. R. C.; NUNES, J. V.; BORTOLADO, M. M.; SOUSA, R. P. L. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE. **Design e naturalismo:** filosofia naturalista, biônica e ecodesign, **Anais...** Ed. 1., 2010. Brusque-Santa Catarina, 2010.

CASTELLACCI, F. Innovation and the competitiveness of industries: Comparing the mainstream and the evolutionary approaches. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 75, n. 7, p. 984-1006, Sept. 2008.

DETANICO, F. B, TEXEIRA, F. G, SILVA. T. K. **A biomimética como Método Criativo para o Projeto de Produto**. Segunda edição – Porto Alegre: Design e Tecnologia, 2010.

DIMAS, R. R. **La bioinspiración al alcance de las nuevas tecnologías**. Tesis Pos grado em Diseño Industrial Universidade Autónoma de México, 2009.

DOCZI, G. **O poder dos limites:** Harmonias e proporções na Natureza, Arte & Arquitetura.

Tradução: Maria Helena de Oliveira Tricca e Júlia Bárany Bartolomei - Sexta edição - São Paulo: Publicações Mercuryo Novo Tempo, 2012.

DORST, C. H. **Describing design** – a comparison of paradigms. Thesis TUDelft, 1997.

FISHER, Brian. Science and smart graphics. **Information Technology**, v. 3, p. 142-148, 2009.

FRIEDMAN, K. IN: International Conference on Design and Technology Educational Research 2000 Loughborough University. **Creating design knowledge: from research into practice**. Leicestershire, United Kingdom, 2000.

INPI. Universidade Federal do Amazonas e Instituto Nacional de Pesquisa da Amazonia (Manaus, AM). Grupo Metálico. Brasil patente BR n. MU 9002473-7, 2011.

INPI. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (Manaus, AM). Grupo bioabsorvível. Brasil patente BR n. MU9102934-1, 2012.

KINDLEIN JÚNIOR, W., & GUANABARA, A. S. (Abril de 2005). Methodology for product design based on the study of bionics. **Materials & Design**, 26(2), pp. 149-155.

LUPTON, E.; PHILLIPS, J. C. **Novos fundamentos do design**. Tradução: Cristian Borges. São Paulo: Cosac Naify, 2008, 248 p.

MANZINI, E. VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

MCDONOUGH, W. BRAUMGART, M. **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. North Point Press, New York. USA, 2002.

MOZOTA, B. B. **Gestão do design: usando o design para construir valor de marca e inovação corporativa**. Porto Alegre: Artmed editora/ Bookman editora, 2011.

NAGEL, J. K.; NAGEL, R. L.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A. Function based,

biologically inspired concept generation. **AI IEDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design**. Analysis and Manufacturing, v. 24, p. 521-535, 2010.

NARDELLI, E. S. Arquitetura e projeto na era digital. **Arquitetura Revista**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, jan./jun., p. 28-36, 2007.

OXMAN, R. **The Mind in Design: A Conceptual Framework for Cognition in Design**. Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education. p. 269-295. Elsevier, Georgia Institute of Technology. Edited by: Charles M. Eastman, W. Michael McCracken and Wendy C. Newstetter. Atlanta. USA, 2001.

PETERS, Brady (Ed.). **Inside smartgeometry: expanding the architectural possibilities of computational design**. Wiley, 2013.

PIMENTEL, B. G. S. SILVA, R. P. **O design e os sistemas naturais**. Artigo desenvolvido em História e Crítica do Design (orientação Profa. Dra. Paula Ramos, Departamento de Artes Visuais. Programa de Pós-Graduação em Design: Mestrado e Doutorado com Concentração em Design e Tecnologia, 2013. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2013.

PIMENTEL, B. G. S. **Aplicação projetual da simulação da compostagem**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, 2015. 244p.

PLENTZ, N. D.; BERNARDES, M. M. S; FRAGA, P. G. R. **Sistema de indicadores de inovação, competitividade e design para empresas desenvolvedoras de produtos**. Marca Visual: Porto Alegre, 2015.

SABIN, Jenny E.; PETERS, Brady; PETERS, Terri. Matrix Architecture. **Inside Smartgeometry: expanding the architectural possibilities of computational Design**, p. 60-71, 2013.

SACHS, A. Paradise lost? Contemporary strategies of nature design. **Nature design: From Inspiration to Innovation**. p. 262-274. Zurique, Suíça: Museum für, Gestaltung Zürich.

Zürcher Hochschule der Künste ZHdK, Zürcher Fachhochschule and Lars Müller Publishers.
Lars Müller Publishers, 2007.

SCHÖN, D. A. WIGGINS, G. Kinds of seeing and their functions in designing. **Design Studies**. Vol 13, Issue 2, Elsevier Science, p.135-156, 1992.

SCHÖN, D. A. La formación de profesionales reflexivos. **Hacia un nuevo diseño de la enseñanza y aprendizaje en las profesiones**. Madrid: MEC Paidós, 1992.

SILVA, P., F. **O uso da tecnologia tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produtos**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e Materias. Porto Alegre, RS, 2006.

TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic architecture**. Routledge, 2006.

VEIGA, J. E. da. **Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2010.

VILARREAL, Janitzio Égido. **Biodiseño: Biología y diseño**. Colección Teoría y Práctica. D. R. Editorial Disegno, S.A. de C.V. México. Ciudad de Méjico, 2012.

WEISE, Thibaut et al. Online loop closure for real-time interactive 3D scanning. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 115, n. 5, p. 635-648, 2011.