

Impressão 3D e processo de projeto paramétrico aplicado ao design emergencial

3D printing and parametric design process applied to emergency design

Bruno Massara Rocha

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
bmassara@gmail.com

Leonado Valbão Venancio

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
leovalbao@gmail.com

Abstract

After the biggest environmental disaster in Brazil, the issue of emergency design emerged. The emergency design is guided by effective and agile responses to disasters and develops specific project intelligences which deals with the particularities and complexities of emergency situations. In this paper concepts and experimental solutions of emergency design are investigated using parametric design and 3d printing. The project explored light biomimetic structural frames and surfaces and analyses the potential of biodegradable materials such as cellulose acetate in the production of these components to create spatial architectural solutions.

Keywords: Emergency Design; Surface Design; Biomimetic; 3D Printing; Parametric Design

Introdução

Com grande impacto na sociedade brasileira e enorme repercussão na mídia internacional, o rompimento da barragem de rejeitos de minério do Grupo Vale e Samarco localizada na cidade de Mariana/MG passou a ocupar um lugar de destaque nas investigações acadêmicas. Esforços transdisciplinares foram iniciados tendo em vista atender as inúmeras demandas surgidas nas localidades atingidas desde o que merece ser considerado como um crime ambiental. Estas investigações são marcadas por ações que reúnem uma abordagem de múltiplos níveis: social, tecnológica, ecológica, arquitetural, biológica, econômica, jurídica, etc. O trabalho aqui apresentado tem foco nas questões de alojamento dos atingidos e na promoção de soluções de infraestrutura para abrigar outras funções de apoio e acolhimento de atividades complementares. Os resultados apresentados aqui fazem parte de uma pesquisa em andamento denominada “Prototipagem digital paramétrica orientada ao design emergencial” em desenvolvimento pelo Grupo de Pesquisa Conexão VIX da UFES. A metodologia adotada para o desenvolvimento das soluções de arquitetura, engenharia e design destas unidades de abrigo envolve o uso de tecnologias de modelagem paramétrica e técnicas aditivas de fabricação digital. No caso específico deste artigo são trazidas à tona questões relacionadas à concepção estrutural e ao design de superfícies, ambos com inspirações biomiméticas e explorando o uso de materiais de base orgânica como o acetato de celulose. O objetivo é discutir a viabilidade na associação entre estes materiais, as técnicas de impressão 3D e a concepção de estruturas biomiméticas, expondo pontos que podem avançar no setor tecnológico de produção.

Contexto de trabalho e definição do problema

Antes de mais nada, cabe destacar brevemente alguns aspectos importantes do contexto do desastre ambiental de Mariana para que se tenha uma dimensão dos problemas sobre os quais se debruça o projeto destas unidades emergenciais. Em termos gerais, o impacto do rompimento no ecossistema local comprometeu cidades, rios, matas, nascentes, a fauna e a flora de uma área de mais de 1440 hectares (Fonte: IBAMA), além de provocar 19 mortes incluindo funcionários das empresas mineradoras e moradores do vilarejo de Bento Rodrigues. Ao longo de todos os 660km de percurso da lama tóxica inúmeras comunidades urbanas e rurais foram direta e indiretamente afetadas pela: falta de água, mortalidade de peixes e animais silvestres, perda da produção agrícola, doenças relacionadas à alteração ambiental do ecossistema, assoreamento dos rios, comprometimento de áreas verdes, dentre muitos outros prejuízos. O vilarejo de Bento Rodrigues foi completamente soterrado pela lama tóxica, deixando um grande número de desabrigados que ainda estão em um complicado processo de reestruturação de suas vidas.

Desastres ambientais são problemas extremamente complexos. Ocorrem com frequência em todo mundo, e abarcam alagamentos, furacões, terremotos, inundações, deslizamentos, somando ainda situações críticas associadas às guerras, conflitos e, como consequência, grandes migrações de população. Direcionamentos de ajuda humanitária são oferecidos por organizações como Cruz Vermelha, Nações Unidas, governos e outras ONGs, e incluem suportes em múltiplas etapas e com diferentes estratégias. Estes direcionamentos têm como uma de suas

referências principais o Manual Esfera elaborado pela Cruz Vermelha com aplicações nas mais diferentes situações de suporte humanitário. No que se refere às questões de alojamento e provisão de infraestrutura de apoio imediato aos atingidos pelo evento, são apresentadas as seguintes providências básicas: espaços suficientes para proteção contra o frio, umidade, calor, chuva, ventos, vetores de enfermidades; acesso à água, fontes de energia, serviços de saneamento e instalações de higiene; meios para conservação de alimentos, eliminação de dejetos e serviços de emergência (Esfera, 2011). Em termos gerais, o projeto de alojamentos e instalações deve dar condições para uma condição de vida digna, com respeito à privacidade e individualidade, oferecendo segurança e conforto psicológico para o processo de reconstrução e reassentamento das vítimas (Esfera, 2011). Em termos gerais, os projetos existentes se enquadram em dois modelos básicos: a) tendas de campanha; e b) soluções industrializadas padrão (Frade, 2012, p.29). Além disso, analisando a pesquisa de autores como Frade (2012), Aquilino (2011), Sinclair (2006), Mendes & Aibe (2012), é possível perceber que em casos emergentes soluções não planejadas são também realizadas pelos próprios envolvidos no auxílio, utilizando materiais locais disponíveis.

Dentre as principais limitações dos projetos existentes podemos listar: a) o elevado preço de produção frente à escassa eficiência econômica no país afetado; b) a ausência de participação dos sobreviventes na configuração do espaço e adequação às suas necessidades locais, formas de habitar e valores culturais; c) a desadequação frente às variações climáticas e ao tamanho das famílias; d) a exigência de mão de obra especializada para montagem; e) o desconhecimento das normas e princípios de projeto preconizado pelas agências especializadas (Frade, 2012, p. 37).

Conscientes da complexidade do problema espacial e infraestrutural em situações de desastre ambiental, a pesquisa aqui apresentada é um esforço no desenvolvimento de soluções tecnológicas com vista a melhorar a qualidade e a eficiência dos abrigos criados para estas situações. O objetivo específico desta etapa da pesquisa foi avaliar a possibilidade de criar soluções específicas de projeto para as unidades emergenciais adotando materiais de fontes naturais preferencialmente reciclados e associá-los à técnica de impressão 3D para a produção de seus componentes básicos, neste caso específico sua estrutura e vedação. Dentre os materiais pesquisados se destaca o acetato de celulose.

A nova concepção de Materialidade

Os resultados da pesquisa que aqui apresentamos foram orientados por uma visão crítica-propositiva acerca dos projetos existentes. Propositiva porque assume como foco a elaboração e teste de um protótipo específico de abrigo emergencial no qual foram associados à biomimética, a parametrização e a fabricação digital. Trata-se de um trabalho que se encontra ainda em desenvolvimento embora já venha obtendo resultados processuais e conceituais

significativos que foram apresentados e publicados no meio acadêmico¹.

Os principais desafios desta etapa de investigação estão associados à concepção estrutural e ao projeto das superfícies de recobrimento do abrigo que trata da criação de padrões de vedação para as superfícies que o compõem. O objetivo é atingir uma performance adaptativa em diferentes condições climáticas, físicas, locais e de segurança. Algumas destas investigações foram testadas em protótipos reduzidos impressos em 3D enquanto outras foram apenas simuladas em *softwares* paramétricos.

O processo de fabricação por impressão 3D e a modelagem paramétrica orientou a busca por padrões geométricos biomiméticos complexos, que pudessem inspirar a concepção e a fabricação da estrutura e vedação do abrigo emergencial. Dentre suas atribuições, eles deveriam ter qualidades de estanqueidade, favorecimento da ventilação natural, isolamento térmico, resistência estrutural, independente de seu arranjo geométrico. Alguns exemplos existentes incluem as fibras internas do bambu, estruturas de colméias, escamas de peixes e peles de animais. A complexidade e diversidade dos padrões geométricos naturais assumem hoje um papel determinante na investigação geométrica de superfícies artificiais em função das possibilidades de simulação de seus padrões e, indiretamente de suas qualidades, em ambiente computacional orientado para a fabricação digital.

Outro ponto de investigação associado ao design de superfícies é a definição do tipo de material a ser utilizado para a construção do protótipo. O aprimoramento das técnicas de fabricação digital vem alimentando uma inteligência projetual focada na inovação de tipos de materiais e técnicas de produção que incorporam o baixo impacto ambiental, a utilização de materiais biodegradáveis, a definição de padrões sob demanda, processos de reciclagem, etc. Podemos afirmar que o novo paradigma da fabricação deste século é a fabricação coerente, durável e responsável, conforme discutem Keating e Oxman (2013) ao tratarem do enorme desafio e também oportunidades que surgem na atualidade em função do uso de técnicas, materiais e produtos com processos e tecnologias diferenciados, não poluentes e que conservem os recursos naturais.

A escolha dos materiais e seu modo de aplicação é um aspecto central em todo o espectro da arquitetura, e em situações de desastre, em que se projeta em condições de grande incerteza, essa combinação deve ser capaz de oferecer respostas rápidas, adaptativas e eficazes. A importância do material é ressaltada por Oxman, Gramazio e Kohler (2015, p.1) como um atributo que não deve ser subordinado à forma, mas sim seu progenitor. Não foram identificadas soluções com estas qualidades nos projetos de abrigos emergenciais estudados.

¹ Ver (Rocha & Venancio, 2017).

Há um novo campo de investigação de materiais na arquitetura e no design inspirados pela crescente presença dos métodos avançados de fabricação digital. Essa nova materialidade (Oxman, 2015, p.2) vem trazendo importantes contribuições para ampliar o leque de possibilidades de se implementar novos materiais e modos de produção como é o caso do acetato de celulose associado a elementos estruturais e vedações. Uma das contribuições mais relevantes é o fortalecimento das questões ambientais e ecológicas como o uso de materiais recicláveis e biodegradáveis em construções.

As técnicas de computação são interfaces-chave para a exploração do potencial desta nova materialidade em função das técnicas de fabricação digital. Elas conduzem uma mudança significativa na qual a materialidade não é apenas vista como uma propriedade fixa e receptora passiva da forma, mas é transformada em um gerador ativo de design e um agente adaptativo de desempenho arquitetônico. A materialização atualmente está começando a coexistir com o design como processos robotizados exploratórios. Isso representa uma saída radical do que é chamado de "verdade aos materiais". (Oxman, 2015, p.1). Oxman se refere ao princípio da tradição modernista que considerava que os materiais não deveriam sofrer alterações sendo utilizados em sua forma mais pura. Com as técnicas atuais torna-se viável alterar os padrões básicos de organização dos materiais melhorando sua performance em diferentes níveis. Exemplos pertinentes sobre o espectro de novos materiais que tem grande potencial tecnológico e de inovação e que podem ser incorporados nos projetos de arquitetura e design são os biomateriais, materiais mediados e responsivos, assim como materiais compósitos (Oxman, 2015, p.2).

Materialidade e Design de Superfície

No caso específico do projeto do abrigo emergencial proposto aqui, a especificação da materialidade, associada ao potencial tecnológico e a fabricação inteligente sustentável, foi direcionada para os biomateriais, mais especificamente o acetato de celulose. Ele tem potencial para assumir tanto um papel estrutural, dependendo da forma como os esforços serão conduzidos, como também uma função de vedação, a partir da criação de padrões específicos para cada situação. Nas ciências biológicas há um termo específico para essa condição de vedação-membrana que é tegumento, derivado do latim "*integumentum*", cujo significado é cobertura. O acetato de celulose é um plástico semissintético abundante (Thompson, 2015, p.30), que permite o desenvolvimento de produtos recicláveis em diversas áreas. Trata-se de um polímero termoplástico essencialmente rígido dotado de relativa flexibilidade (Gomes, 2010, p.12), totalmente biodegradável em condições de compostagem controlada, durável e que gera poucos impactos ambientais por quilograma produzido (Thompson, 2015, p.32). Este polímero é um dos mais importantes no desenvolvimento de matrizes biodegradáveis e tem um importante papel na ciência como possibilidade de diminuição do uso de matérias-primas provenientes de fontes não renováveis (Gomes, 2010, p.14). Além disso,

apresenta baixo custo de produção (Cerqueira, Rodrigues Filho, Carvalho & Valente, 2010, p.86), permitindo uso através de técnicas artesanais e industriais, com padrões complexos e efeitos de cor. Tais qualidades concedem aos projetistas possibilidades de associar os tipos de cores com as demandas de absorção ou reflexão de luz e radiação solares (Thompson, 2015, p.32).

Atualmente, com a ampliação do uso do acetato de celulose no mercado, muitas pesquisas e experimentos estão sendo desenvolvidos para aumentar sua resistência física, térmica e reduzir custos e reaproveitar resíduos de sua produção. O acetato de celulose pode ser produzido a partir de diferentes matrizes. Pesquisas como a de Cerqueira, Rodrigues Filho, Carvalho & Valente (2010) demonstram como o acetato de celulose pode ser sintetizado a partir do bagaço de cana de açúcar. Pinto, Calloni & Silva (2013) comprovam que ele também pode ser produzido a partir da casca de arroz (*Oryza sativa*). Em ambas as pesquisas fica claro que há um grande potencial de reaproveitamento dos resíduos e seu posterior tratamento a partir da manipulação química permitindo intensificar as propriedades físicas e mecânicas do material. Outros estudos relacionados à biocompósitos realizados por Gutiérrez, Rosa, De Paoli & Felisberti (2012) comprovam que o acetato de celulose extraído das fibras curtas de Carauá e tratados com dióxido de carbono supercrítico apresentam um elevado potencial de aplicação principalmente como isolantes térmicos. É importante frisar que o Brasil é um país extremamente rico nestas três fontes de resíduos e fibras, indicando o enorme potencial para avançar nos estudos das aplicações do acetato de celulose enquanto matriz material para projetos de arquitetura e design.

Para além de todas estas potencialidades citadas acima, há ainda informações que indicam sua viabilidade no campo da fabricação digital aditiva de impressão 3D. Apesar da dificuldade em se derreter a celulose no processo de impressão 3D em função do calor, pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology*, Pattinson & Hart (2017), desenvolveram um método em que o pó de acetato de celulose é dissolvido em acetona preparando-se um fluido viscoso. A extrusão deste fluido é realizada utilizando-se uma impressora 3D de pórtico que não utiliza calor. No lugar do filamento de polímero padrão é utilizado um bocal capilar conectado ao fluido. Na medida em que o fluido é dispensado pelo bico a acetona evapora permitindo que uma peça sólida de acetato de celulose seja construída em um processo camada a camada. Para evitar complicações entre moléculas de celulose e acetona, é feito um tratamento com hidróxido de sódio para reforçar as ligações da estrutura (Pattinson & Hart, 2017, p.1). Este processo implica numa adaptação do hardware da impressora com a substituição do bico extrusor por outra tecnologia, o que não permite seu uso imediato nas impressoras tradicionais. Isso pode ser um agravante para a viabilidade dos projetos, embora não necessariamente conduza a sua reprovação.

Essa técnica criada por Pattinson & Hart (2017) apresentou resultados significativos em termos de resistência comparado aos materiais tradicionais de acetato de celulose e os de impressão 3D, PLA e ABS. Em termos de dureza, o acetato de celulose impresso tridimensionalmente

apresentou uma média de dureza 46% maior do que o acetato de celulose produzido pelo mercado atual, excedendo significativamente o plástico ABS e o PLA, além de alguns valores publicados para o Nylon (Pattinson & Hart, 2017, p.3-4).

Considerando que o acetato de celulose é biomaterial termoplástico com boa potencialidade de resistência na técnica de impressão tridimensional, ele pode assumir um papel mais determinante e complexo nos componentes de um abrigo emergencial, principalmente em termos estruturais. Além disso, as qualidades de isolamento térmico e maleabilidade permitem explorar o design das superfícies de vedação, considerando a investigação de diferentes tipos de padrões de fechamento impressos em 3D. Em termos gerais, o design de superfície implica num desenvolvimento de múltiplas qualidades de uma superfície: estéticas, funcionais, estruturais (Laranjeira & Marar, 2014, p.8), e isso pode levar a um casamento entre estrutura e vedação numa única solução.

Estudos preliminares de como a aplicação do design de superfície a partir do processo de impressão 3D em um projeto de abrigo emergencial foram realizados seguindo princípios e referências biomiméticas. A proposta conceitual já havia sido elaborada em etapas anteriores e os primeiros protótipos podem ser vistos na Figura 1 no lado direito. Duas impressões realizadas em PLA (branco) e ABS (vermelho) ilustram a concepção formal do abrigo e seus componentes principais. Maiores detalhes deste projeto inicial podem ser encontrados em Rocha & Venancio (2017) e incluem informações detalhadas das técnicas, processos e escolhas conceituais, incluindo questões relacionadas à biomimética. No lado esquerdo da Figura 1 se vê um protótipo mais recente impresso em escala ampliada com a concepção estrutural de uma das placas pivotantes que configuram o projeto. Sua concepção e configuração paramétrica foram realizadas nos softwares *Grasshopper* e *Rhino* utilizando neste caso o diagrama de Voronoi como referência em função de sua aproximação morfológica com a biomimética. Este diagrama é uma criação artificial cuja linguagem dialoga com formas orgânicas. Ele simula uma organização de padrões biomiméticos e permite explorar as potencialidades que a técnica de impressão 3D oferece em desenvolver formas não lineares, customizadas, orgânicas e não-seriais com o mesmo tempo e qualidade de produção que processos industrializados seriais. Com relação ao projeto do abrigo, este diagrama permite um bom resultado estrutural em termos de resistência e leveza, boa adaptação interna às funções de ocupação, adaptabilidade a diferentes tamanhos e tipo de abrigo, qualidade estética diferenciada, questões estas ressaltadas em etapas preliminares conforme descrevem Rocha & Venancio (2017).

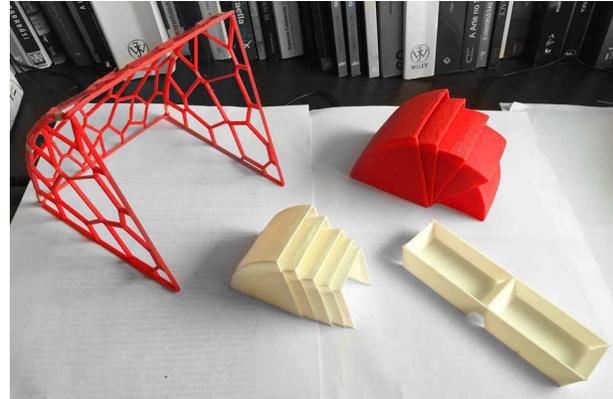


Figura 1 Composições do abrigo emergencial feitas a partir da impressão 3D. Fonte: autores.

A mesma linguagem estrutural dos diagramas de Voronoi foi explorada para a concepção do tegumento. A figura 2 demonstra a concepção deste tegumento a partir de escalas menores de distribuição dos intervalos do diagrama. Essa vedação tem como objetivo contribuir para o desempenho térmico do abrigo e em função disso, dois aspectos principais são evidenciados: a qualidade do material empregado para sua fabricação e o padrão morfológico como esse material será empregado. A associação destes dois aspectos auxilia no desempenho da vedação quanto aos aspectos de conforto.

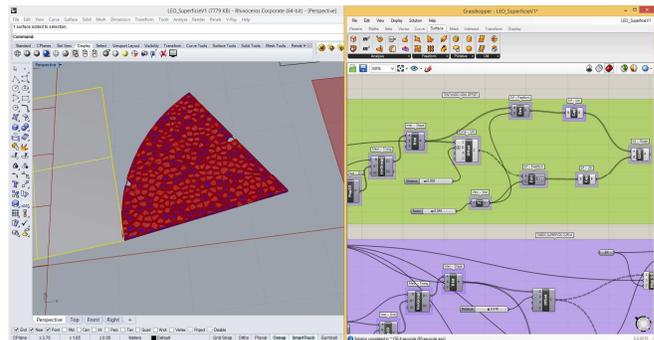


Figura 2 Diagrama de Voronoi desenvolvido no *GrassHopper+Rhino*. Fonte: autores.

Além da demanda pelo conforto térmico e a busca por padrões de vedação que contribuam seja para a promoção de aberturas de ventilação natural quanto para fechamento e isolamento térmico, há ainda outro aspecto direcionador do design de superfície que é a sua estanqueidade. Neste sentido há um processo ainda em andamento neste projeto que é o desenvolvimento de um padrão alternativo ao diagrama de Voronoi que são os padrões de escamas. Tomando como referência biomiméticas escamas do tipo placóides, encontradas na pele dos tubarões, esse tipo de solução morfológica baseada em denticulos permite tanto a impermeabilidade à água quanto a mobilidade do corpo do animal. Analogamente, a superfície do abrigo tem como objetivo incorporar essa dupla ou tripla função de impermeabilidade à água, ajuste das placas e também a possibilidade de ventilação natural. No caso das escamas placóides, sua morfologia composta e justaposta leva à diminuição do atrito gerado pela água (Lacerda, Soranso &

Fangueiro, 2012, p.8). No caso do projeto do abrigo, essa mesma morfologia poderia permitir ao abrigo estanqueidade e ao mesmo tempo uma capacidade de “respirar” em localidades quentes ou muito úmidas.

O grau de complexidade projetual necessário para o desenvolvimento de uma superfície arquitetônica de inspirações biomiméticas e com as qualidades descritas acima implicam necessariamente num investimento de tempo e conhecimento em tecnologias paramétricas e técnicas de fabricação digital. A Figura 3 ilustra uma peça estrutural recém retirada da impressora em que é possível identificar a peça sobre um conjunto de suportes necessários para sua confecção. Trata-se de uma peça em que foi utilizado o diagrama de Voronoi como referência para uma estruturação mais abstrusa. Autores como Laranjeira & Marar (2014, p.10) concordam acerca de impossibilidade de operacionalizar relações construtivas e biomiméticas sem o auxílio das tecnologias digitais paramétricas.

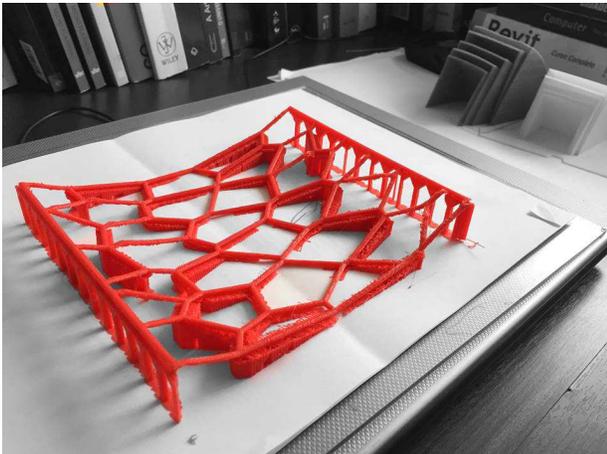


Figura 3 Complexidade de formas e padrões que a impressão 3D permite. Fonte: autores.

A acepção da complexidade paramétrica, o design bioinspirado e a exploração da tecnologia 3D são marcas ponderantes deste projeto de abrigo emergencial. Ao utilizar o acetato de celulose como tegumento e o diagrama de Veronoi como design de superfície, tem sido possível experimentar novos horizontes para projetos de abrigos emergenciais mais adaptativos, seguros, leves, recicláveis e coerentes com cada tipo de contexto. Podemos afirmar que no caso deste projeto os sistemas biológicos se caracterizaram como referência e neste sentido computaram, como afirmam Oxman, Laucks, Kayser, Uribe e Duro-Royo (2013, p.1) a organização do material escolhido de acordo com critérios de desempenho.

Análises conclusivas

Pesquisas mais recentes identificaram que a empresa ColorFabb já está comercializando um tipo de filamento baseado em madeira denominado *Corkfill* (3Dprinting, 2017). Este filamento é composto por uma mistura entre cortiça e o PLA que é um material termoplástico biodegradável derivado de milho ou cana-de-açúcar e comumente utilizado nas impressões 3D. No entanto, o PLA não apresenta um

desempenho térmico razoável considerando sua aplicação em estruturas arquitetônicas e, neste sentido, cabe retomar a proposta de incorporação da celulose como insumo necessário para a melhoria da qualidade dos ambientes produzidos por impressão 3D para uso humano.

É importante explicar que as investigações realizadas e apresentadas neste artigo ainda ocorrem no nível dos protótipos embora tenha como horizonte sua aplicação em projetos na escala 1:1. Isso implica, sem sombra de dúvida, no desenvolvimento de máquinas de impressão 3D maiores e com capacidade de imprimir peças grandes com cerca de três ou mais metros de largura e comprimento. Apesar de máquinas com estas características, sejam elas impressoras de trilho ou braços robóticos, já estejam sendo utilizadas em projetos em diversas partes do mundo, elas ainda não são tão comuns no mercado brasileiro e seu custo ainda é alto para importação. Apesar disso, pesquisas importantes dedicadas ao tema *hardware* livre indicam a possibilidade de desenvolvimento de equipamentos desta natureza com objetivos de pesquisa e experimentação acadêmica a custos bem mais baixos do que os de importação. Trata-se de um horizonte ainda a ser explorado e alcançado por parte dos pesquisadores brasileiros.

A impressão 3D enquanto mecanismo operativo projetual processual cria uma esfera totalmente favorável para o desenvolvimento dos ciclos de investigação da ideia. Ela constituiu, juntamente com a modelagem paramétrica, ambiente imprescindível para a aplicação dos princípios biomiméticos a um problema de projeto de alta complexidade.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa e à Inovação do Espírito Santo – FAPES pelo auxílio financeiro concedido para este projeto, ao professor Dr. Jarryer de Martino pelo auxílio na programação paramétrica, aos alunos da disciplina Ecologias de Projeto do mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UFES turma 2017: Elaine Cristina Santana, Katherine Athié, Camilo Lima, Patryck Almeida, Raphael Potratz, Roberto Cabral, Mariana Rodrigues, Lorenzo Accarino, Ana Eler, Colette Gomes, Yolanda Faustini, Gabriel Lavinsky, Sara Araujo, Paulo Henrique Calenzani, Tayná Moreschi, Eliz Modolo, pela contribuição na discussão dos temas e identificação de tecnologias aplicáveis ao projeto.

Referências

- Aquilino, M. J. (Ed.). (2011). *Beyond shelter: architecture and human dignity*(pp. 254-263). New York, NY: Metropolis Books.
- Cerqueira, D. A., Rodrigues Filho, G., Carvalho, R. D. A., & Valente, A. J. (2010). Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por ¹H-RMN. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 20(2).
- Esfera, P. (2011). *Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*.
- Frade, R. C. A. C. (2012). *Arquitetura de emergência: projectar para zonas de catástrofe* (Doctoral dissertation).

- Gomes, J. N. P. L. (2010). Misturas de acetato de celulose-brometo de poli {[9, 9-bis (6'-N, N, N-trimetilamônio) hexil] fluoreno-fenileno}: preparação, caracterização e cinética de libertação (Master's thesis).
- Gutiérrez, M. C., Rosa, P. D. T., De Paoli, M. A., & Felisberti, M. I. (2012). Biocompósitos de acetato de celulose e fibras curtas de Curauá tratadas com CO2 supercrítico. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 22(3).
- IBAMA. Laudo Técnico Preliminar – Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Online. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf>. Acesso: 14 de julho de 2017.
- Keating, S., & Oxman, N. (2013). Compound fabrication: A multi-functional robotic platform for digital design and fabrication. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(6), 439-448.
- Lacerda, C., Fanguero, R., & Soranso, P. (2012). O contexto Biomimético Aplicado ao Design de superfícies Têxteis.
- Laranjeira, M., & Marar, J. F. (2014). CAOS & COMPLEXIDADE: DESIGN DE SUPERFÍCIE E OS NOVOS PARADIGMAS DA CIÊNCIA. *Educação Gráfica*, 204-204.
- Mendes, R. C., Aibe, Y. B., & Barbosa, L. L. Design Emergencial. Soluções encontradas para.
- Pattinson, S. W., & Hart, A. J. (2017). Additive manufacturing of cellulosic materials with robust mechanics and antimicrobial functionality. *Advanced Materials Technologies*, 2(4).
- Pinto, B., Calloni, G., & da Silva, S. A. (2013). Obtenção de acetato de celulose a partir da casca de arroz (*Oryza sativa*). *Revista Liberato*, 14(21), 7-20.
- Rocha, B. M. e Venancio, L. V. (2017). Prototipagem Digital Paramétrica orientada ao Design Emergencial – O Caso Do Desastre Ambiental MG/ES. EURO ELECS - Encontro Latino-Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. (p. 1751-1760)
- Oxman, N., Laucks, J., Kayser, M., Uribe, C. D. G., & Duro-Royo, J. (2013, September). Biological Computation for Digital Design and Fabrication. In *Computation and Performance—Proceedings of the 31st eCAADe Conference*(Vol. 1, pp. 585-594).
- Oxman, N., Ortiz, C., Gramazio, F., & Kohler, M. (2015). Material ecology.
- Oxman, N. (2015). Templating Design for Biology and Biology for Design. *Architectural Design*, 85(5), 100-107.
- Sinclair, C., & Stohr, K. (Eds.). (2006). *Design Like You Give a Damn: Architectural Responses to Humanitarian Crisis*. Thames & Hudson.
- Thompson, R. (2015). *Materiais Sustentáveis, processos e produção*. Brasil, Ed. Senac.
- 3Dprinting (2017). ColorFabb With a New corkFill 3D printer Filament. Disponível em: <<http://3dprinting-blog.com/tag/cork-filament/>>. Acesso em: 20 de Julho de 2017.