

>>

LEONARDO VALBÃO VENANCIO

<<



TROCANDO DE PELE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO | CENTRO DE ARTES

TROCANDO DE PELE
ESTUDO EXPERIMENTAL DE SÓLIDOS CELULARES
PARA APLICAÇÕES EM PELES ARQUITETÔNICAS

LEONARDO VALBÃO VENANCIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito para obtenção do título de
Arquiteto e Urbanista.

Orientador: Dr. Bruno Massara Rocha

VITÓRIA, 2019

**“I REALLY BELIVE
IN THE IDEA
OF THE FUTURE!”**
(ZAHA HADID)



**“EU REALMENTE ACREDITO
NA IDEIA DO FUTURO!”**
- TRADUÇÃO NOSSA -
(ZAHA HADID)

FOLHA DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APROVADO EM _____

ATA DE AVALIAÇÃO DA BANCA:

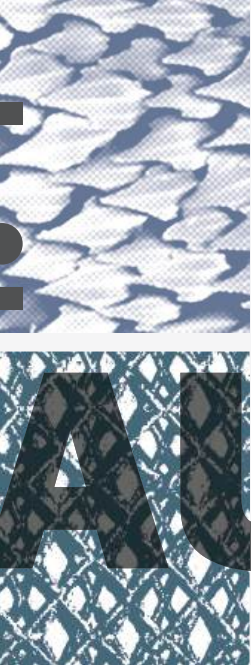
AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA:

NOTA: DATA: ORIENTADOR: DR. BRUNO MASSARA ROCHA

NOTA: DATA: CO-ORIENTADOR: DR. JARRYER DE MARTINO

NOTA: DATA: CONVIDADO:

APROVADO COM NOTA FINAL: _____



NOTA DO AUTOR

ufes | projeto de graduação 2019

Durante minha vida como estudante, desde meu curso técnico – que foi voltado para a área ambiental e tecnológica –, sempre acreditei em um futuro em que seu caminhar pudesse ser diferente, sempre apostei em um momento em que nossos caminhos deveriam crer nas inovações.

Dado certo tempo, me deparei com a arquitetura. Encantei-me! Dado mais um tempo, tive a oportunidade de desenvolver um projeto de iniciação científica, e meu encanto foi ainda mais intensificado!

Esse encanto me deu asas para desenvolver este trabalho, que pude ter uma pontinha do que acredito para o nosso futuro.

”

Nessa longa caminhada seria impossível me imaginar sem a presença de tantos personagens: sejam principais ou coadjuvantes. Deixo aqui então registrado meu muito, mas muito, OBRIGADO!

Aos meus pais, Daniela e José Roberto, e a minha irmã Amanda, eu não tenho como expressar a imensidão do meu obrigado. À Tia Cinha, Maria e Marcella, por terem sido pessoas únicas nessa jornada. À madrinha Nil, por ter abraçado essa caminhada com carinho. À Tia Lu e ao Tio Zé, obrigado pelos ensinamentos sobre o amor e o respeito. A todas as tias e tios, primas e primos, avós e familiares que tirem uma pontinha nisso tudo, meu agradecimento.

Não poderia deixar de dizer meu obrigado à amizade. Obrigado a Luayza, ao Matheus e a Mariane, por terem sido esse grupo impecável. Ao Vicente e a Joyce, que sempre compartilharam seu carinho. Às Julia Calazans e Júlia Pedruzzi, pela parceria inigualável. À Tayná, por um companheirismo inimaginável. Quando olharem esse projeto, que vocês possam se lembrar das pessoas que são e da força que tem.

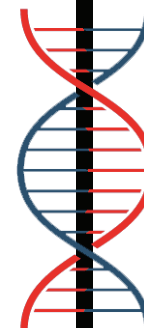
Por fim, a toda a equipe da Angatu, vocês foram fundamentais para meu crescimento. Ao professor Bruno Massara, que essa parceria continue rendendo tantos frutos quanto já rendeu e ao professor Jarryer De Martino, por ter entrado nesse meu caminhar.

A todos que fizeram parte de alguma forma nesse momento, obrigado!

“



A T C G Y X A T A T
C G Y X A T A T C G
Y X A T A T C G Y X
A T A T C G Y X A T
A T C G Y X A T A T
C G Y X A T A T C G
Y X A T A T C G Y X



SUMÁRIO



PROJETO SER	8
INTRODUÇÃO	16
ESTRUTURA DO TRABALHO	18
1. CAPÍTULO I: PRELÚDIO DO FUTURO: UM APELO AO PRESENTE	20
1.1. REFLETINDO A METÁFORA DOS FENÔMENOS	22
1.2. (IN)COERÊNCIAS	36
1.3. CENAS DE UM ROMPIMENTO: A FORMA E A FUNÇÃO	60
2. CAPÍTULO II: DIALÉTICA DO DEVANEIO: A ARQUITETURA COMO UM ORGANISMO VIVO	68
3. CAPÍTULO III: TRÍPLICE OPERACIONAL - BIOMIMÉTICA, PARAMETRIA E IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL	110
3. CAPÍTULO IV: UM NOVO ANTIGO CAMINHO DE POSSIBILIDADES: OS SÓLIDOS CELULARES	128
4. CAPÍTULO V: O SÓLIDO CELULAR E A PELE ARQUITETÔNICA	144
INSIGHTS	226
CONSIDERAÇÕES FINAIS E PASSOS FUTUROS	238
REFERÊNCIAS	249

PROJETO
SER

Neste volume de projeto de graduação, iremos nos deparar com algumas temáticas relacionadas à arquitetura, ao corpo humano e a natureza – falaremos um pouco sobre biomimética, mas te conto melhor daqui a pouco!.

O projeto de graduação é para muitos (inclusive para mim), um processo que envolve um trabalho árduo: fica marcado tanto como uma fase de transição entre ser aluno e ser arquiteto como também um trabalho que cada autor trata com muito carinho.

Nosso caminho pela graduação nunca foi estrelado solitariamente, e sim com a companhia dos amigos que vamos levando neste caminho. Como uma forma de eternizar as pessoas que durante todos estes anos foram amigos, companheiros, que sorriram juntos, sofreram juntos e deram as mãos quando foi necessário, criei o projeto fotográfico “SER”. Neste projeto, cada amigo que fez parte da minha graduação e do meu dia-a-dia, será aqui um “marca capítulo/subcapítulo”.

Ser, sendo um predicativo, significa “ter identidade, característica ou propriedade intrínseca”. Aliando a temática deste trabalho (arquitetura, corpo e natureza), cada amigo meu, que possui sua particularidade especial, li-guei ao sentido do “ser vivo: o ser humano e o ser animal”.

Esta foi uma forma de representar o reflexo de quem são (e somos) com uma representação animal, como também buscar a fundo parâmetros na natureza e sua vitalidade para representar neste PG e na arquitetura, a biomimética - calma, vou explicar logo, logo! - (isso de maneira prazerosa e divertida!).



LEONARDO VALBAO_CERVO

Pedi a opinião de alguns amigos em relação a qual animal poderia ser reflexo da minha personalidade. O cervo foi característico pelo significado de ser um animal nobre, leal, e pelo porte que tem, mesmo sendo um animal grande, ainda apresenta uma delicadeza peculiar.



TAYNA MORESCHI_LEOA

Mulher que me passa a imagem de força, que enfrenta os perigos, de olhar marcante e feroz, que representa vida e a coragem. Protege com unhas e dentes o que e quem ama.



LUAYZA PERIM_CORUJA

A Coruja é um animal que simboliza a sabedoria, a inteligência, o mistério (um mistério que só Luayza carrega consigo), o misticismo e em muitas culturas, está ligada ao poder feminino, que ela carrega essa força com suas garras.



MARIANE DANTAS_CACHORRO

Coração de ouro e lealdade são as suas marcas. Aquela pessoa de se contar para todos os momentos que precisar, está sempre do lado. Uma pessoa alegre, levemente desajeitada, às vezes assustada, mas com o astral sempre contagiante.





MATHEUS BONJUR_PAVAO

Matheus é sinônimo de beleza, de amor próprio, com um esplendor que só ele consegue carregar, uma luz bela de se olhar. Este animal em várias culturas possui dos mais variados simbolismos, mas ser contagiante é comum em todos elas.



JULIA CALAZANS_GATO

Descrever a Julia é descrever o gato. Ele é um animal que simboliza a independência, a sabedoria, a sensualidade, a sagacidade e o equilíbrio. Um animal lindo, de olhar marcante, fiel a quem lhe passe segurança.



JULIA PEDRUZZI_GIRAFA

A girafa passa a imagem de beleza singela e plena, de postura intacta e impecável, mesmo grande é um animal majestoso, um ser leve, um animal que tem sempre um olhar de outro ângulo, a própria Júlia.



VICENTE GEWENR_FALCAO

Só uma ave poderia representar Vicente. Ele transpassa liberdade, serenidade e felicidade. Dos risos e sorrisos contagiantes. Existe no xamanismo a crença, que o falcão é o mensageiro do céu, da vida e dos sonhos: imagem que ele carrega consigo.





JOYCE ZANINHO_PASSARINHO

Não tinha como pensar em Joyce sem pensar em um ser vivo pequeno, mas que de pequeno carrega um grande coração. Ela é uma pessoa linda, “das coisas pequenas”, mas que sabe soltar a voz e alçar voo quando lhe convém.



1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

INTRODUÇÃO



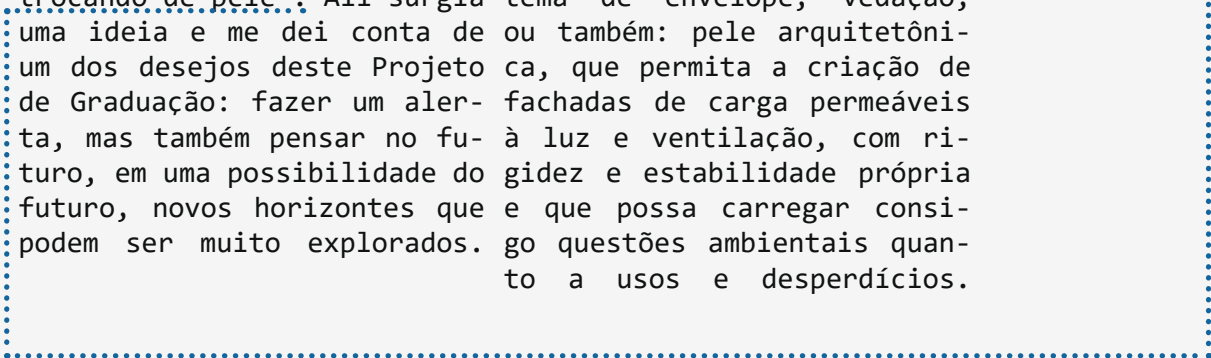
INTRODUÇÃO

Com aquele olhar atento e fixo ao longe, me deparei pela janela do trabalho com um edifício de proporções impactantes sendo erguido em meio a uma paisagem natural marcante. Alguns impactos mexem com a gente, mas ficam ali guardados, tímidos, querendo sair e dizer que há poderíamos ter apostado em algo melhor.

O primeiro ruído veio quando uma de meus chefes de estágio, Rovena Daher, postou em sua rede social uma foto desse edifício que tinha uma tela de proteção, do chão ao topo, que esvoaçava com o vento, e assim ela escreveu na legenda: “Bicho urbano trocando de pele”. Ali surgia uma ideia e me dei conta de um dos desejos deste Projeto de Graduação: fazer um alerta, mas também pensar no futuro, em uma possibilidade do futuro, novos horizontes que podem ser muito explorados.

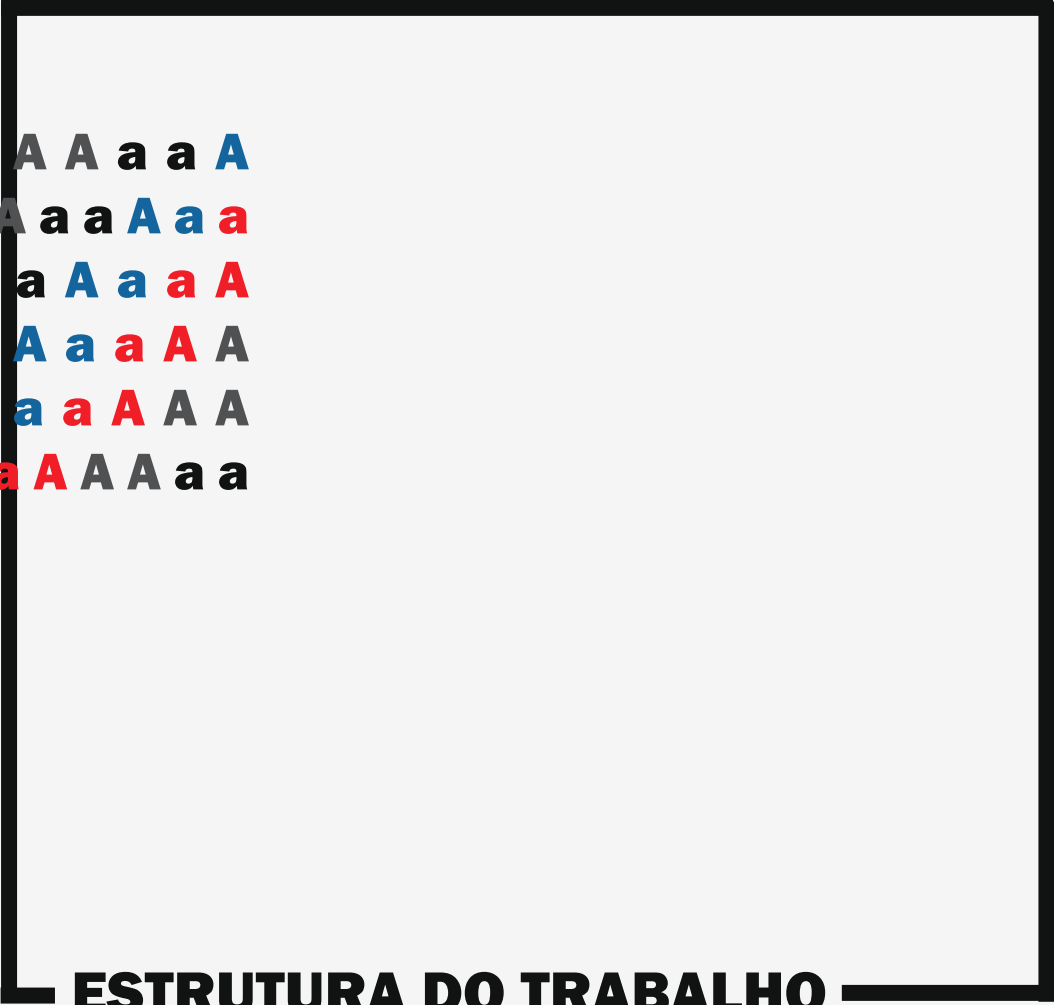
Entre metáforas, dados verídicos e devaneios, o estudo se concentra na investigação de uma treliça estrutural a partir de modelos com referenciais a organismos naturais, chamados de “sólidos celulares”, utilizando a parametrização como eixo programático computacional enquanto ferramenta de programação digital e a impressão 3D como desenvolvimento de prototipagem rápida e fabricação digital.

O intuito do trabalho foi criar um processo de pensamento com revisão teórica para dar um primeiro passo de gerar um sólido celular que possa ser aplicado em um sistema de envelope, vedação, ou também: pele arquitetônica, que permita a criação de fachadas de carga permeáveis à luz e ventilação, com rigidez e estabilidade própria e que possa carregar consigo questões ambientais quanto a usos e desperdícios.





A a a A A A a a A
a a A A A a a A a a
A A A a a A a a A
A A a a A a a A A
A a a A a a A A A
a a A a a A A A a a



ESTRUTURA DO TRABALHO



O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, que juntos criam uma sequência de representação do processo de pensamento.

1 PRELÚDIO DO FUTURO: UM APELO AO PRESENTE

Como tentar compreender a realidade que vivemos, aplicadas ao homem e ao se fazer arquitetura? Este processo embarca numa temática de problematização e entre metáforas, revisões bibliográficas e dados fatídicos, conversamos um pouco sobre a nossa realidade. Isso, para entendermos um pouco como temos lidado frente a questão da forma, da função e da materialidade.

2 DIALÉTICA DO DEVANEIO: A ARQUITETURA COMO ORGANISMO VIVO.

Para aflorar os pensamentos das estruturas existentes da natureza, nada como uma boa filosofia e uma abstração para trazer à mente a compressão de como a arquitetura se encaixam enquanto natureza. Para isso, vamos estudar parâmetros comparativos entre o “ser arquitetura e o ser vivo” – neste caso, a escolha foi o complexo corpo humano.

3 TRÍPLICE OPERACIONAL: BIOMIMÉTICA, PARAMETRIA E IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL & UM NOVO ANTIGO CAMINHO DE POSSIBILIDADES: OS SÓLIDOS CELULARES.

4 Conceituar e definir, o se fazer compreender. Esse é o pilar para a pergunta do: como seria possível englobar os processos naturais que no design e na arquitetura - trazer e reproduzir a natureza no cotidiano arquitetural?

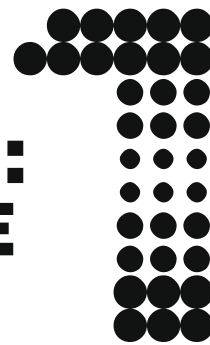
5 SH.ARCH – O SÓLIDO CELULAR E A PELE ARQUITETÔNICA

Eis o campo da experimentação prática e seus testes. Veremos o desenvolvimento em escala experimental de metadesign, um sólido celular que possa ser pensado para alimentar peles arquitetônicas. Ver por fim, o levantamento teórico aplicado no campo físico de reprodução.





PRELÚDIO DO FUTURO: UM APELO AO PRESENTE







REFLETINDO A METÁFORA DOS FENÔMENOS

SÓLIDO. LÍQUIDO. GASOSO. Estas são as propriedades físicas que na teoria básica científica, os corpos podem assumir correlacionados a sua materialidade. Desde novos, parte do nosso ensino curricular, é compreender os fenômenos de transição das propriedades que os corpos podem assumir. Com o tempo nos aprofundamos na geometria molecular dos materiais, na qual perpassa até seu estudo comportamental e suas especificidades (Barros & Paulino, 2006, p. 156). Antes de entrarmos em questões técnicas e complexas, detendo-nos nesta linha, voltemos aos conceitos básicos da etimologia destas palavras. **Novamente: sólido, líquido e gasoso.** Sólido: “que tem constituição física forte, robusto”; líquido: “que flui ou corre”; gasoso: “da natureza do gás, aeriforme” (Weiszflog, 2004).

E se estas palavras sofressem alteração da sinonímia e seus sentidos estivessem interligados por uma contextualidade de caráter global, sensitivo e principalmente ecológico? Bem, é por esse caminho que este trabalho pretende seguir: carregar a figuração destas palavras na arquitetura enquanto forma, na arquitetura como conceito e na arquitetura enquanto construção. Aqui será feito um recorte neste amplo campo que é a arquitetura em um eixo temático sobre como tentar, minimamente que seja, equacionar o consumo excessivo dos recursos disponíveis e o descarte do produto final pensando em mecanismos inovadores de construção. Mas como podemos fazer isso? Calma, vamos primeiro tentar entender alguns pontos antes e iniciar nossa metáfora.



O primeiro estado da matéria que precisamos deter nossos pensamentos é o estado líquido. Nada faria melhor sentido se não utilizar da figuração da **liquidez**, dentro das três propriedades físicas, para situar a realidade em que vivemos enquanto indivíduo, enquanto sociedade e no caso deste trabalho, onde se enquadra a arquitetura e a construção civil dentro de uma margem temporal.

“[...] Os fluidos se movem facilmente. Eles “fluem”, “escorrem”, “esvaem-se”, “respingam”, “transbordam”, “vazam”, “inundam”, “borrifam”, “pingam”; são “filtrados”, “destilados”; diferentemente dos sólidos, não são facilmente contidos – contornam certos obstáculos, dissolvem outros e invadem ou inundam seu caminho.” (Bauman, 2001, p. 8)

Para efeito de compreensão, nos localizemos inicialmente neste contexto. O termo metafórico da liquidez, como citado acima, já vem sendo utilizado pelo sociólogo Zygmunt Bauman há algum tempo para tentar encaixar o que estamos discutindo. De acordo com Bauman (2003, p. 4), as sociedades mais antigas estavam sempre a desmontar a realidade que lhes era herdada com a perspectiva de longa duração, e sua intenção era de torná-la melhor e novamente sólida: desfazer para refazer com bases rígidas.



Atualmente, ainda se desmonta a realidade herdada, porém tudo está permanentemente desmontado, sem perspectiva de nenhuma permanência. Tudo é temporário. A sociedade moderna, assim como os líquidos, se caracteriza por uma incapacidade de manter a forma. As instituições, os quadros de referência, os estilos de vida, as crenças e as convicções mudam antes que tenham tempo de se solidificar em costumes, hábitos e verdades (Bauman, 2003, p. 2).

Com este cenário instável, a sociedade líquida por consequência experimenta então um mundo que permeia variadas dimensões: suas relações ou a falta delas, o tempo inabalável, a velocidade, a globalização, a modernidade, o consumo, a vida como um todo e principalmente, os pensamentos e as ações das pessoas (Tomiello, 2018, p. 1). Destas multicamadas da realidade vem surgindo a arquitetura como produto da liquidez. A arquitetura precisou começar a lidar com uma mudança veloz da realidade; mudança essa que não foi de modo gradual, lento e suportável, mas sim rápida, violenta e incômoda, para tentar atender todos os aspectos da vida humana, que virtualmente são afetados quando se vive a cada momento sem a perspectiva de longo prazo (Bauman, 2003, p. 4; Bazz & Pereira, 2011, p. 3).

Um marco deste momento em nossa história, que podemos lembrar e que pode vir a calhar como grande exemplo foi o processo de instauração do capitalismo. A partir do final do século XVIII e início do século XIX, o capitalismo foi instaurado e junto com ele a “sociedade tecnológica”.



De acordo com a lógica revolucionária e capitalista, industrialmente falando, quanto mais se produz, mais se consegue vender e assim, há um aumento dos lucros (De Carvalho, 1997, p. 2). Desta maneira, para tentar atender e alimentar esta lógica, o século XX experimentou a “Modernidade Líquida” (Bauman, 2001) e trouxe como reflexo a rapidez e a voracidade informacional; uma intensidade do desenvolvimento científico e tecnológico numa esfera de redução dramática do tempo requerido para o desenvolvimento das tecnologias, vulgo: a liquidez (Buainain e Carvalho, 2010, p. 2; Colavitti, 2009, p.1). A arquitetura entra nesse contexto tendo em vista a agilidade em que tudo se tornou fácil, prático e rápido, ligados ao fazer, desfazer e/ou refazer, para atender de maneira mais breve possível o ideal capitalista, cada vez mais impaciente.

Como estamos trabalhando com a multidisciplinaridade, e assim incluindo as ciências naturais, a química e a física obviamente, nos deparamos com um ponto importante, aliás, uma lei da física conhecida: “para toda ação tem-se uma reação” – especificadamente, a terceira Lei de Newton -, logo esta liquidez surtirá um efeito. Surtirá não, já está surtindo e não é de hoje. As ciências explicam que quando o líquido se torna um gás, este fenômeno é denominado gaseificação. Para nós aqui, a metáfora da gaseificação reside numa linha tênue entre os mundos real e virtual: a proporção dos impactos que variam por margens de prognósticos futuros.



Vejamos bem a relação de ligação das bases da arquitetura e da construção civil na busca pelos recursos primários e a consequência futura dessas buscas incessante. Como citado antes, o tempo requerido para o desenvolvimento tecnológico tem sido devéras rápido e há uma investigação incessante de recursos que possam evoluir e alimentar as tecnologias, e é aí que mora o maior desafio do século XXI. O grande aumento das quantidades de material extraídos e consumidos nas últimas décadas vem trazendo um sério problema de escassez de recursos. Carvão, petróleo e gás não estão apenas se tornando cada vez mais escassos como estão excedendo as emissões gasosas, principalmente de CO2 e assim acelerando o surgimento de uma crise global sensível à mudança climática. Embora a associação mais corriqueira com a poluição são as emissões de gases na atmosfera são carros e aviões, estes não são os culpados cruciais. Na verdade, a área mais crítica e muito mais problemática nesta dinâmica é a construção civil, que causa, direta ou indiretamente, 80% das emissões de CO2 na atmosfera (Naboni, 2017, p.1).

Regressemos no tempo e relembremos alguns detalhes. Uma das características da realidade experimentada pela sociedade antiga era a de que as maiores ameaças para a existência humana eram muito mais óbvias. Os perigos eram reais, palpáveis e não havia muito mistério sobre o que fazer para neutralizá-los ou, ao menos, aliviá-los. *“Era, por exemplo, óbvio que alimento – e só alimento – era o remédio para a fome.”* Mas agora não são assim, os riscos atualmente são de outra grandeza, não se podendo sentir ou tocar em muitos deles, apesar de estarmos todos expostos,



em algum grau, a suas consequências. *“Não podemos, por exemplo, cheirar, ouvir, ver ou tocar as condições climáticas que gradativamente, mas sem trégua, estão se deteriorando.”* O mesmo vem acontecendo com os níveis de radiação e poluição, a diminuição das matérias-primas e fontes de energia não renováveis e os processos de globalização com ausência de controle político ou ético que demolem as bases de nossa existência e sobrecarregam a vida dos indivíduos com um grau de incerteza e ansiedade sem precedentes (Bauman, 2003, p. 4).

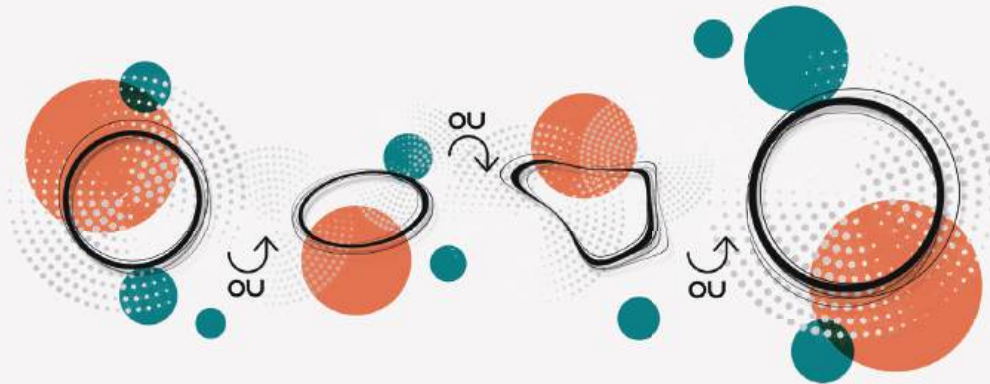
Esta é a incerteza da “gaseificação”: existem os fatos, os valores indicadores quantitativos e os dados relacionais qualitativos, todos eles implicam com algo real, vívido e da realidade do agora, porém somado com a instabilidade da “liquidez”, ainda é algo que permeia um futuro incerto que pode apresentar características negativas, e que por alguma reviravolta em um dado momento, serem atenuados. Nesse jogo de previsões, Bazzo & Pereira (2011, p. 3) apontam que seria melhor que nos esforçássemos no sentido de prever as graves consequências assumindo a premissa que somos “profetas”, não tanto porque decidamos sê-lo, mas por absoluta necessidade. Necessidade essa que vislumbramos através do conhecimento prévio dos números e das análises que fazemos sobre o progresso tecnológico.

Bem, se porventura, a liquidez se passa no mundo das ideias, como enquadramento abrangente da realidade e a gaseificação está numa linha tênue entre a realidade e a virtualidade, com olhos no presente e pensando no futuro,



onde se encaixaria a metáfora dos sólidos? Antes de continuarmos, vamos juntos trabalhar nossa imaginação e usar da abstração para continuar nossa reflexão e construir um diagrama. Começamos nossa conversa falando da metáfora da liquidez, associemos então a primeira metáfora com um círculo. Sim, um círculo. O círculo é uma forma geométrica pura e que não tem princípio nem fim. Este círculo poderia ter seus limites rígidos, fruto de uma sociedade de épocas passadas, só que agora como vivemos tempos líquidos, então imaginem que o nosso círculo possui a linha limite flexível. Logo, se o círculo for pressionado ele pode formar uma elipse, por exemplo, ou, se deformado, pode se tornar uma forma ameboide, ou ainda, se flexionada pode expandir seus limites e assim por diante (imagem 1). Isso é um reflexo da instabilidade da liquidez.

IMAGEM 1: TRANSFORMAÇÃO DO CÍRCULO – METÁFORA DA LIQUIDEZ



Fonte: Autoria própria.

Visto isso, falamos muito que a gaseificação era uma linha tênue entre mundos e realidades, então no nosso diagrama, imaginemos que se sobrepondo ao círculo – ou a forma que ele estiver assumindo no momento – existe uma linha. Só que esta linha será tracejada: hora ela é cheia, hora é vazia (imagem 2). Isso é um reflexo da incerteza da gaseificação.

IMAGEM 2: COEXISTÊNCIA DA METÁFORA DA LIQUIDEZ E DA METÁFORA DA GASEIFICAÇÃO



Fonte: Autoria própria.

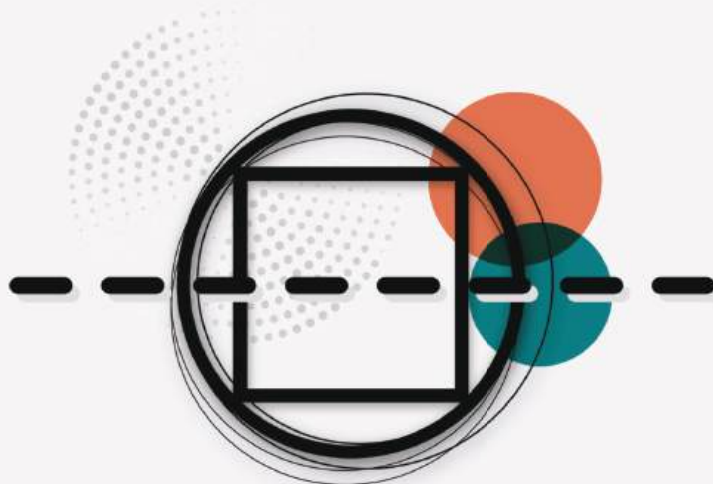
Para finalizar nosso diagrama, vamos imaginar um quadrado. Vamos situar agora o nosso quadrado dentro do círculo (imagem 3). Por mais que essa forma geométrica de lados iguais remeta a perfeição e a estabilidade, se mudarmos o foco do olhar para outros





significados, veremos que o quadrado representa uma forma artificial, septada, modelada para parecer certa e perfeita. Isso é um reflexo do que veremos ser a insensatez da solidez.

IMAGEM 3: DIAGRAMA DAS METÁFORAS



FONTE: Autoria própria.

Mesmo que a forma quadrangular possua linhas bem definidas, sólidas e pareça que vá enrijecer o círculo, como o diagrama das metáforas este círculo é reflexo de uma modernidade líquida, que tem limites maleáveis, o quadrado está submetido a esta realidade e acaba por perder sua forma básica inicial e se modela a partir da forma que o círculo assumir. Nessa adaptação fica parecendo que



o quadrado, ou agora, a solidez em si, é algo que se tenta controlar, fortalecer as bases, fazer algo certo, mas que gera impactos insensatos na sua forma natural inicial.

Para fortalecer a ideia da solidez, cabe aqui entender o que seria sua metáfora e se possível exemplificá-la como nas demais metáforas anteriores. Estamos falando agora da concepção de algo que se apresenta no mundo real, é concreto e está diante dos nossos olhos. Já falamos e repetimos que tudo se torna voraz e veloz e que por decorrência, gera grandes impactos. O processo de solidificação está presente na despreocupação com os usos e desperdícios, nos decorrentes atos inconsequentes praticados. Quem nunca ouviu falar sobre resíduos sólidos? Nada mais se faria jus para expor essa metáfora se não falar da solidez e usar de palavras similares. A realidade experimentada pelo consumo desenfreado tem causado um problema mundial e principalmente no cenário nacional de gerar os resíduos sólidos em grandes escalas.

Novamente, o nosso olhar deve se voltar à arquitetura. De acordo com Cunha (2016, p. 38), uma grande consumidora de recursos naturais e energia é a indústria da construção e fabricação dos materiais, o que resulta na geração de muitos resíduos, desde a sua produção até seu descarte. Estas disposições provocam desequilíbrio e contribuem para o aparecimento de problemas ambientais já vivenciados atualmente e que vem se intensificando continuamente. Em 2003, a ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais criou o “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil”, que visa divulgar as informações



sobre os resíduos sólidos, de diferentes áreas, no país – entre eles os resíduos de construção e demolição -, que em muitos casos estão fracionadas e/ou desatualizadas. A última revisão da cartilha que insere os dados computados pela ABRELPE é de 2016 e não mostrou bons resultados comparado a levantamentos anteriores.

Cerca de 45,1 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição foram coletados em 2016, o que configura uma diminuição de 0,08% em relação a 2015, de certa maneira “negativo” com dados evolutivos tão baixos. Neste cálculo, no Brasil são descartados 123.619 t/dia de residuais construtivos e cada habitante produz em média diariamente 0,6 Kg. Com enfoque na região sudeste, seus dados são os que mais sobressaem as demais regiões já que resíduos produzidos contribuem praticamente com metade da média nacional diária, chegando a 63.981 t/dia e ultrapassa a média nacional de kg/habitante/dia, chegando a 0, 741 (ABRELPE, 2016, p. 36-37).

Estes valores se assemelham por e ou seriam até melhores, por exemplo, a valores europeus ou norte-americanos se o Brasil estivesse há 20 anos. Porém passado as décadas, a redução destes valores caem nos demais países, elevando o Brasil a um grande atraso. Pensando nisso, o agravo se torna ainda maior quando se estima que no Brasil, o setor da construção civil seja responsável por 40% dos resíduos gerados (Scremin et al., 2007, p. 30), ou seja, ainda há 60% de outros resíduos como os resíduos sólidos urbanos e os resíduos hospitalares, que em somatória, só crescem problemas ambientais no país.



Obviamente existem inúmeros fatores que acabam por definir estes valores de um país ao outro, ou de uma região para a outra, como a variação da população por área, fatores econômicos, físicos, históricos e/ou políticos, mas não cabe aqui ressaltá-los pontualmente, mas sim questionar como que em um “mundo líquido”, em que tudo é ágil e a descoberta é voraz, parece que a liquidez vem sofrendo uma mudança de estado quando o assunto são os resíduos gerados pela construção civil, com dados evolutivos tão lentos.

Esses apontamentos nos provam nada mais nada menos a insensatez que é a metáfora da solidez, uma insensatez que abriga tanto uma questão de que as necessidades humanas são consumidoras da natureza e esse consumo tem sido um ato inconsequente (Bursztyn, 1995, p. 99), como uma insensatez explícita na imagem 3 no diagrama das metáforas, algo que possui linhas definidas mas é moldada pela realidade em que vive.

Temos assim então, um prelúdio ao futuro: um apelo ao presente – uma moldura baseada na metáfora dos fenômenos. Mas, se você acha que paramos por aqui, se engana. Entre os sólidos, líquidos e gasosos, talvez uma solução para o futuro esteja aliada à metáfora do **plasma**. O plasma, por muitas controvérsias de sua existência por estudiosos sendo ou não um novo estado físico da matéria, é um produto não tão comum na Terra quanto no espaço, mas pode ser reproduzido artificialmente (Zibell, 2004, p. 3-5). Uma possível figuração das ideias, considerando as teorias de que o plasma existe, é de que ele possa ser um exemplo de novos estudos de materiais e métodos que vem sendo desenvolvidos para averiguar



e amansar os impactos que vem sendo causados pelos fatos já apontados.

O primeiro passo para “chegar ao plasma” é deixar inicialmente uma rogativa aos arquitetos, que mais do que qualquer outro responsável dos segmentos da sociedade e grupos profissionais, são capazes de acompanhar a “liquidez”, desde a “gaseificação à solidificação” - já pensando a frente no “processo plasmático”-, e são desafiados repensar a maneira de projetar, construir e confrontar com materiais. Quando Thom Mayne discursou no momento em que recebeu seu Pritzker em 2005, principal prêmio de arquitetura e design mundial, ele disse a seguinte frase: “Arquitetura é uma maneira de ver, pensar e questionar nosso mundo e nosso lugar nele”, esse deve ser o lema do “plasma”. Está na hora de uma reviravolta ecológica através do design inteligente e estar um passo a frente quanto mediador na utilização de materiais, tecnologias, requisitos de reciclagem e uso de energia (Naboni, 2017, p.1).





(IN)COERÊNCIAS

Em 1750, a população mundial era em torno de 800 milhões de pessoas; de 1,6 bilhão em 1850; de 2,4 bilhões em 1950; de 3 bilhões em 1970 e hoje está mais próxima dos 8 bilhões do que da casa dos sete. A velocidade máxima dos meios de transporte era de 60 quilômetros por hora em 1850, de 160 Km em 1900, de 1,6 mil em 1950. Hoje os astronautas viajam a cerca de 40 mil quilômetros por hora. O número de automóveis cresce disparado nas estradas do mundo. Mas a população está parando. A mobilidade diminui, as reservas de energia estão sendo exauridas, a poluição ambiental está praticamente fora de controle (Bazzo, 2011, p.2). Estas são nada mais nada menos que algumas das coerências, ou sob outro olhar, as incoerências, que vertiginosamente se expandem no mundo.

Dentro destes dados, as metáforas apresentadas no texto anterior funcionam como um método de levantamento de mais uma destas **(in)coerências** que guiará o desenvolvimento deste trabalho: como o ciclo de vida dos materiais construtivos vem impactando o planeta. O mundo, durante toda sua trajetória histórica, presenciou processos tecnológicos que de alguma forma se sobrepuseram a escala humana, social e ambiental justamente por essa pressa do fazer-produzir; contudo, cabe aqui expor o surgimento de novas soluções e pesquisas que tentam trazer estas tecnologias – tecnologias de fabricação e materialidade, por exemplo – passíveis de produzir resultados positivos, efetivos e inovadores para reverter o quadro que vem se agravando.



Antes de falar de soluções, um passo de cada vez, cabe compreender a relação que faz com que a arquitetura se torne algo vívido: a materialidade que a compõe e as relações do processamento/utilização dos materiais para com a natureza. A partir do momento em que se entendem quais materiais mais se difundiram no decorrer do tempo, a partir da compreensão de suas propriedades e, principalmente quais impactos seus resíduos vem trazendo ao meio ambiente, é possível buscar por uma melhoria.

No Brasil a indústria da construção civil ocupa posição de destaque na economia por ser responsável por uma significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB)¹ nacional. É importante ressaltar este ponto porque se o cenário da arquitetura e construção é algo tão abrangente no país, seria coerente dizer que em consequência, pode gerar impactos de grandes proporções, que basicamente é o que vem acontecendo. Estes impactos podem ser expressos pelas quatro grandes etapas do processo construtivo, chamado de ciclo de vida dos materiais (COLTRO et al, 2007, p.7). Este ciclo é composta na: (a) na **aquisição de materiais**, considerando a retirada de matéria-prima natural; (b) no **processamento do material e fabricação dos produtos**; (c) na etapa de **execução das obras civis**; e (d) na fase de **disposição final dos resíduos** gerados pela construção (Roth & Garcias, 2009, p. 113-114).

.....
¹ O PIB representa a soma (em valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos por um país ou região (ADVFN, 2018).



Neste ciclo, a fase extremamente preocupante no modelo de construção civil praticado no Brasil já se inicia pela retirada das fontes primárias. A extração ampla de matérias-primas não renováveis é algo culturalmente adquirido pelo processo histórico secular da sociedade e como já debatido antes, o problema mora justamente na escassez de recursos disponíveis. A proporção de impacto que esta fase pode causar de degradação varia desde o tipo de mineração, da quantidade de materiais retirados até os rejeitos produzidos (Ibidem, p. 118).

De acordo com Barreto (2001, p. 6-8) o problema se agrava já que esta fase consome elevadas quantidades de energia, há uma degradação visual da paisagem, ocorrem ruídos e vibrações prejudiciais à tranquilidade pública, a todo o momento há um tráfego intenso de veículos pesados e como será possível perceber em todas as fases do ciclo de vida dos materiais, a geração de resíduos como grande rastro do acontecido. O autor ainda expõe que os resíduos podem ser de três tipos: (1) Existem os **resíduos particulares**, entra assim a contribuição da mineração para a poluição do ar, advinda da poeira e da emissão dos gases dos motores das máquinas e veículos; (2) existem os **resíduos solúveis** pela lama e/ou compostos químicos, entrando aqui uma parcela significativa que provoca a poluição das águas; e por fim, (3) os **resíduos não solúveis**, que são os resíduos sólidos provenientes dos rejeitos e de materiais estéreis.



Se na primeira fase do ciclo de vida dos materiais os impactos já são severos, principalmente por poderem ser escassos e gerarem tantos tipos de resíduos, a segunda fase, a fase de fabricação e industrialização, não fica para trás no quesito residual. Novamente é possível trazer questões históricas para entender como o processo de fabrico desencadeou uma industrialização impeciente que ainda vem perdurando.

A partir da Revolução Industrial e o desenvolvimento tecnológico, a poluição passou a constituir um problema para a humanidade. Obviamente já existiam indícios de poluição, mas houve um aumento significativo com a industrialização e urbanização, e a sua escala deixou de ser local para se tornar planetária (Leal, De Farias & Araujo, 2008, p.4). Isso se deve ao fato de que o objetivo principal da época era o crescimento econômico em curto prazo, mediante a utilização de novos processos produtivos e a exploração intensiva de energia e matérias-primas, cujas fontes eram consideradas ilimitadas. Muitos empreendedores industriais nos dias de hoje ainda possuem essa mentalidade, logo, continua sendo um processo de degradação intensivo (Casagrande, 2008, p.2).

Relativo ao processo de fabrico industrial, com papel efetivo na economia do Brasil, a indústria da construção civil tem uma grande parcela no que diz respeito aos poluentes e impactos no meio ambiente. Com um processo industrial tardio, abrupto e veloz, houve no país uma rápida degradação do solo, um comprometimento dos corpos d'água e mananciais que atingem muitos meios urbanos e rurais e uma contribuição para a poluição do ar e proliferação



de vetores de importância sanitária (Jacobi, 2011, p. 135).

Para exemplificar a ordem de grandeza que a Indústria construtiva causa, além da questão de resíduos sólidos que geram as consequências citadas acima, **UM ÚNICO MATERIAL** fabricado, neste caso o cimento, contribui com uma geração de 6% do total de CO₂ lançados na atmosfera. Para um único material essa porcentagem ainda é muito grande. (Roth & Garcias, 2009, p. 119).

A terceira fase do ciclo de vida dos materiais, a fase de execução e construção da arquitetura, pode ser destrinchada a partir da pesquisa do autor Lucas Scremin (2007, p. 30-31), que traz informações que fazem parte do processo de entendimento da problemática exposta. De acordo com ele, a agência EPA, *United States Environmental Protection Agency* (2006), publicou um artigo já fomentando os impactos gerados nas etapas de construção, demolição e manutenção civil dos edifícios, estradas e pontes.

Na primeira etapa de execução, a construção é precursora de todo o processo construtivo e as perdas geradas nesta fase acarretam a geração de resíduo nas fases de manutenção e demolição. Nesta fase, as perdas são decorrentes dos processos construtivos e podem ser divididas em duas partes: (1) perdas que permanecem incorporadas nas construções, que seriam os gastos de materiais que são superiores às aquelas projetadas, que foram subdimensionados e derivaram do “acaso”; e (2) uma parcela vai se converter diretamente em resíduo de construção (John & Agopyan, 2000, p. 6-7). Roth & Garcias (2009, p. 119) também apontam



que nesta etapa o ar é afetado pelas partículas em suspensão, pelos ruídos e gases emitidos por máquinas, veículos e equipamentos; o solo e subsolo são atingidos pela retirada de vegetação, cortes e escavações do terreno, aterros e terraplanagem; e as águas são contaminadas pelo lixo e petróleo utilizado na operação de máquinas.

Os resíduos na segunda fase, a etapa de manutenção, está associada a vários fatores, destacando-se dentre eles três principais: (1) correção de defeitos e patologias decorrentes com o tempo; (2) reformas arquiteturais, que podem vir a exigir demolições parciais; (3) descarte de componentes que tenham sido degradados e atingiram o final da vida útil e por consequência devem ser substituídos. Um grande problema no Brasil, de maneira geral, é que os profissionais de arquitetura não consideram nem mesmo a existência de atividades de manutenção e seus custos na concepção dos projetos, assim como a flexibilidade dos mesmos (John & Agopyan, 2000, p. 7).

O maior impacto de resíduos na construção civil se dá pela terceira etapa, a fase de demolição. Tornou-se muito mais simples, prático, rápido e barato, por a arquitetura a baixo do que remodelá-la. Ainda não há existência de incentivos para que os proprietários realizem reformas e não demolições assim como são caras as tecnologias de projeto e demolição ou desmontagem que permitam a reutilização dos componentes pré-existentes (ohn & Agopyan, 2000, p. 7).

Scremin (2007, p. 30) ainda aponta que as catástrofes naturais ou artificiais (incêndios, desabamentos, bombardeios, entre outros),



as deficiências inerentes ao processo construtivo empregado, e a ineficiência do design projetual podem ser também considerados fatores geradores de resíduos sólidos de construção e demolição.

Entre todas estas fases de construção e do ciclo de vida dos materiais, vale ressaltar ainda o impacto da logística na construção civil. O transporte brasileiro apresenta uma exagerada dependência do modal rodoviário, o segundo mais caro, atrás apenas do aéreo. Isso é decorrente porque desde a década de cinquenta, com a implantação da indústria automobilística e a pavimentação das rodovias, esse modal se expandiu de tal forma que hoje é o mais procurado, possuindo assim uma participação de 65 % a 75% na matriz dos transportes brasileiros (Ribeiro & Ferreira, 2002, p. 6). Um dos grandes problemas que reside neste fato é que o setor rodoviário de transporte, já sendo amplamente utilizado, possui um alto consumo energético que se agrava ainda mais pelo elevado índice de dióxido de carbono (CO₂) na energia consumida, fruto da elevada dependência em relação aos combustíveis fósseis (De Andrade & Mattei, 2011, p. 4).

Ainda de acordo com De Andrade & Mattei (2011, p.6) é que, mesmo o maior foco das preocupações ser o setor rodoviário, por ser o maior consumidor de energia da matriz logística e também o principal demandante das fontes fósseis de energia, de um modo geral, todos os tipos de transporte logísticos brasileiros, inclusive os mais econômicos e eficientes energeticamente - caso do ferroviário e do aquaviário, por exemplo - possuem uma forte dependência dos combustíveis fósseis.



AGORA, SE DENTRO DE TODO ESSE CICLO DE VIDA É POSSÍVEL IDENTIFICAR FALHAS E VARIADOS IMPACTOS, NÃO SERIA NECESSÁRIO ENTÃO TENTAR CONHECER MAIS A FUNDO OS MATERIAIS, DE MANEIRA PONTUAL E CERTEIRA, E ASSIM TENTAR TRABALHAR NESSAS FALHAS PARA UTILIZÁ-LOS, GERANDO UMA FORMA ARQUITETÔNICA CONSCIENTE?



Esta compreensão das propriedades dos materiais reforça o que, em debates mais recentes, a arquiteta e pesquisadora Neri Oxman (2015, p. 1) vem dizendo. A lógica dos resíduos e dos materiais vai muito além dos pontos técnicos, mas que no decorrer da trajetória histórica do design arquitetônico, houve uma crescente separação (in)coerente entre entender a matéria para definir a forma.

Oxman (2015, p. 1) aponta o livro “*The Craftsman*” de Richard Sennet (2008), que tem como base a compreensão dos artífices e dos trabalhos artesanais e manuais, como um parâmetro de associação às mudanças destes paradigmas da arquitetura. De acordo com a autora, a produção da arquitetura era caracterizada artesanalmente, em que o material e a forma estavam organicamente entrelaçados em uma tradição de fabricação, porém, o design e a produção modernos têm modificado esta integração em direção a concepção da forma como um processo independente do conhecimento da materialidade.

“A forma cresceu em importância e precedência temporal no processo de design a tal ponto que a condição formal antecede a materialização e se tornou normativa e virtualmente intuitivo na cultura do design contemporâneo. Com exceção de poucos casos pioneiros no design contemporâneo, a secularização e a degradação do reino material tornaram-se axiomático. A materialidade tornou-se, dentro da lógica da tradição modernista, uma agência secundária à forma” (Oxman, 2015, p.1, tradução nossa).



Quando se entram nas eras das revoluções, o quadro de forma-materialidade se agrava ainda mais. Com o advento do capitalismo² e da Revolução Industrial, a fabricação baseada em máquinas e a produção em massa são precursoras de uma criação da forma concebida e criada pelo poder de automação industrial, independente de forças e influências ambientais. Os valores promovidos anteriormente pelos artesãos e seus ofícios (não muito diferente do da lógica da natureza), pronunciados pela integração da substância material e dos métodos de construção, foram abandonados enquanto em seu lugar surgiu uma prática de design baseada em valores de produção em massa. Assim, houve uma propensão ao design para com os antigos ofícios e o antigo design como retratadas por formas vernaculares se perderam; e com ele o contexto íntimo das tecnologias materiais. (Oxman, 2015, p. 2)

Se as Revoluções Industriais foram cruciais para o processo de separação entre a forma e a matéria, a Revolução Digital trouxe por fim, uma separação abrupta entre o artesanal e a esta nova lógica. Durante esta era, houve a mudança da tecnologia analógica para a digital, que transformou a tela de pintar em uma tela digital. A forma, ao que parece, é agora completamente divorciada da realidade física de sua manifestação. Esse novo espaço de design proporcionou muita liberação na expressão formal, mas também ampliou a lacuna entre a forma e a matéria e tornou a separação hierárquica e sequencial de processos de modelagem, análise e fabricação infinitamente mais pronunciada (Ibidem, p. 2).

.....
² Ver item 1.1 - parágrafo III sobre a lógica capitalista.



Ao ser ressaltada a importância de se conhecer propriedades dos materiais - de como surgem, quais são as vantagens e desvantagens de seus usos, entre outros - faz-se aqui um processo de compreensão para reafirmar o cunho deste trabalho, que margeia a apresentação de um método construtivo em potencial ascendente, com a utilização de novas tecnologias de fabricação e materialidade para equilibrar as desavenças entre os impactos que cada material comumente empregado pode ocasionar. Para isso, foi feito então uma breve análise dos materiais que são empregados em sua maioria no cotidiano da sociedade. É possível traçar um perfil metodológico de analogia de dados para entender quais os materiais mais utilizados na construção civil e identificar assim as principais propriedades dos materiais. Sob a lógica de que os maiores resíduos descartados são produtos dos principais materiais utilizados na construção civil, é possível intercruzar dados entre a fonte geradora e componentes dos resíduos sólidos com o ranking de materiais utilizados na arquitetura.

A tabela 1 apresenta os principais materiais que compõem o descarte de resíduos sólidos provenientes da construção civil considerados pela ABRALPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Fernandez, 2012, p.17). De acordo com Fernandez (2012, p.17), o concreto é o material que mais é dispensado para coleta urbana como sobra de demolições e obras diversas. Seguindo do (a) concreto estão, em ordem: (b) Rochas, Solos, poeira e lama, (c) tijolo, (d) metais, (e) madeiras, (f) Papel/Material Orgânico, (g) Asfalto, (h) Areia e por fim (1) outros materiais, como vidros por exemplo.



TABELA 1: FONTE GERADORA E COMPONENTES DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (EM %)

COMPONENTES	TRABALHOS RODOVIÁRIOS	ESCAVAÇÕES	SOBRAS DE DEMOLIÇÕES	OBRAS DIVERSAS	SOBRAS DE LIMPEZAS
CONCRETO	48,0	6,1	54,3	17,5	18,4
TIJOLO	-	0,3	6,3	12,0	5,0
AREIA	4,6	9,6	1,4	3,3	1,7
ROCHAS, SOLOS, POEIRA E LAMA	24,8	81,4	23,3	39,2	54,4
ASFALTO	23,6	-	1,6	1	0,1
METAIS	-	0,5	3,4	6,1	4,4
MADEIRAS	0,1	1,1	1,6	2,7	3,5
PAPEL/MATERIAL ORGÂNICO	-	1,0	1,6	2,7	3,5
OUTROS	-	-	0,9	0,9	2,0

Fonte: FERNANDEZ, 2012.



No Brasil as principais soluções construtivas dominantes são as em concreto e alvenaria, que representam 56% das construções. Em seguida estão os sistemas mistos pré-fabricados de concreto e aço com 25% e acrescidos a estes valores, estão 15% dos pré-fabricados em concreto e por fim os sistemas construtivos em aço que equivalem a 4% (Santos, 2017, p. 157). Logo, ao fazer as analogias entre os dados, é possível concluir que na mesma ordem de descarte, são os materiais mais utilizados: em primeiro o concreto, seguido da alvenaria de tijolos e posteriormente o aço. Sob esta lógica, o próximo material mais descartado é a madeira, dado que no Brasil, este material tem grande participação em arquiteturas mais antigas e seu grande uso ainda é temporário, servindo de escoramento, de formas para concreto e andaimes (Ibidem, p. 156).

Traçada esta hierarquia de usos e descartes, para então efeitos posteriores deste trabalho, cabe aqui então compreender algumas das propriedades dos materiais citados acima, assim como suas vantagens e desvantagens - para além dos resíduos gerados. Seguindo a ordem dos principais materiais utilizados/descartados, o concreto será o primeiro material estudado. Este material em sua natureza básica simplificada - dado que atualmente tem-se utilizado aditivos às massas de concreto ou tem-se desenvolvido novos tipos - é um material de construção resultante da mistura de um aglomerante (cimento), com agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água, formando assim uma estrutura heterogênea e complexa (Souza Júnior, 2016, p.6).



Para falar do concreto, a lógica é começar do cimento. A utilização do cimento pode ser considerada como uma espécie de “marca” da civilização atual, pois desde o início do século XX tem sido a solução econômica e em grande escala (MAURY & BLUMENSCHNEIN, 2012, p. 78). O pó fino de cimento - material que pode ser de origens advindas do clínquer (calcário e a argila - Silicato Tricálcico $(CaO)_3SiO_2$ e Silicato Dicálcico $(CaO)_2SiO_2$), do gesso $(CaSO_4 + 2 H_2O)$, do calcário $(CaCO_3)$, da escória siderúrgica (subproduto de alto-forno) ou pozolanas (rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas) - funciona com propriedades de aglomerante hidráulico aglutinante ou ligante, que endurece sob ação da água (Júnior, 2012, p. 2).

No concreto, a pasta formada pelo cimento e água atua envolvendo os grãos dos agregados, enchendo os vazios entre eles e unindo esses grãos, formando uma massa compacta e trabalhável. O agregado é o principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto dando ao conjunto condições de resistência aos esforços e ao desgaste, além de redução no custo e redução na contração. Após a mistura, obtém-se o concreto fresco, material de consistência mais ou menos plástica que permite a sua moldagem em formas. Ao longo do tempo, o concreto passa pelo processo de endurecimento (Souza Júnior, 2016, P.6; Júnior, 2012, p. 9).

A larga utilização do concreto na construção deve-se ao fato da grande resistência à compressão, a durabilidade e como é um material que, antes de endurecer,



pode ser moldado nas formas desejadas, apresenta alta trabalhabilidade (Bastos, 2011, p. 2). Além disso, apresenta economia, e se revela mais barato que a estrutura metálica, exceto em casos de vãos muito grandes. Ele possui ainda resistência ao fogo e possui facilidade de execução. Entretanto, destas vantagens, o concreto apresenta também um grande peso-próprio, em torno de 2500 kg/m^3 , as demolições são difíceis, possui um baixo grau de proteção térmica - quanto mais poros no concreto, maior a transmissão térmica, precisa ser aliado a outros materiais, como o aço, para auxiliar sua debilidade às forças de tração e gera uma demora de utilização devido ao processo completo de endurecimento (Ibidem, p.6).

Para atenuar algumas destas desvantagens do concreto e otimizar as etapas da construção civil, surgiu um subproduto deste material e teve a origem as peças pré-fabricadas e pré-moldadas em concreto. Eles vieram com a proposta de reduzir o desperdício de materiais, e agilizar os processos construtivos, melhorando a qualidade dos elementos estruturais, porém também existem desvantagens no emprego deste sistema construtivo (Duarte, Elmir & Pitol, 2017, p. 30-32). Elementos pré-moldados são definidos como “elementos moldado previamente, fora do local de utilização definitiva da estrutura e em instalações temporárias; é definido como pré-fabricado todo elemento moldado, fora do local de utilização, porém industrialmente e em instalações permanentes de empresa destinada para esse fim, sob condições rigorosas de controle de qualidade” (Ibidem, p. 30-32).



Estes produtos feitos em fábrica transferem o trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas, e acabam por ter um uso otimizado de materiais, reduzido em até 45%, com menor índice de desperdícios, há uma redução do consumo de energia de até 30% e há uma diminuição do desperdício com demolição de até 40%. (Acker, 2002, p. 5). Além disso, as peças de pré-fabricados e pré-moldados exigem um menor tempo de construção - menos da metade do tempo necessário para construção convencional moldada no local, logo, uma rapidez de execução das estruturas em obra; torna possível vencer grandes vãos com elementos autoportantes e potencializam condições de segurança segundo duas vertentes: segurança estrutural e a segurança de acidentes de trabalho (Couto & Couto, 2007, pgs. 2-3).

Obviamente este processo traria desvantagens, que conta com um elevado custo de fabricação, pois as peças pré-fabricadas tem controle de qualidade muito alto (Duarte, Elmir & Pitol, 2017, p. 30-32); há a necessidade, na maioria dos casos, de recorrer a elementos de ligação adicionais (p. ex. parafusos, cantoneiras); maior exatidão de projeto e pormenorização, podendo limitar a expressão projetual; há a necessidade de recorrer quase exclusivamente à mão de obra especializada (Couto & Couto, 2007, pgs. 2-3); e por fim é um sistema pesado, apresentando um peso/área de 268 Kg/m² (Naboni, 2017, p. 6).

Após o uso do concreto e seus subprodutos, o material mais utilizado/descartado é a alvenaria de tijolos. Este material vem, historicamente,



sendo utilizada na arquitetura das casas mais simples até grandes aquedutos e igrejas (Silva & Moreira, 2017, p. 14). A alvenaria, podendo ser de três tipos: estrutural, portante ou de vedação, é entendida como a parede formada por pedras ou blocos, naturais ou artificiais, ligadas entre si por juntas ou interposição de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. No Brasil, as paredes de alvenaria mais utilizadas são as constituintes do processo construtivo tradicional (alvenaria de vedação) em que há uma estrutura reticulada de concreto armado e as alvenarias vedam o edifício. Os principais componentes dessa alvenaria são os blocos cerâmicos e os blocos de concreto, um dos principais materiais descartados citados acima na tabela 1 (Silva & Moreira, 2017, p. 14-15).

Como o concreto já foi comentado cabe aqui voltar os olhares para os blocos cerâmicos, conhecidos também por cerâmica vermelha e o mais popular, o tijolo. A principal matéria prima utilizada na produção da cerâmica vermelha é a argila, um material natural, de estrutura terrosa e de textura fina. Este material tem seu ciclo de vida provindo da extração da argila, passa pela preparação, mistura, secagem e queima, até obtenção dos produtos finais, podendo cada etapa influenciar decisivamente na etapa seguinte (Galassi & Tavares, 2014, pgs. 2-3). A cerâmica vermelha apresenta as vantagens a partir do seu melhor custo-benefício entre todos os materiais disponíveis para vedação. A alvenaria permite a facilidade e baixo custo na execução, tendo ainda maior aceitação das pessoas devido à cultura do uso e não necessitar de mão de obra especializada (Santos et al., 2015, p. 3).



Estas vantagens precisam ser apuradas quando as desvantagens podem se sobressair de acordo com muitos fatores construtivos que vão desde a qualidade do produto até as práticas de projeto e construção. Mesmo sendo um material poroso, podendo trazer muitas complicações relacionadas a infiltrações e percolações, este tipo de material é muito pesado, tendo seu peso/área de 339 Kg/m² (Naboni, 2017, p. 6). Seu problema no cotidiano construtivo se dá devido à alvenaria de tijolo exigir um maior tempo de execução reduzindo assim a produtividade relativa ao tempo de obra (Ibidem, p. 3).

Por conseguinte a alvenaria segue-se para o setor de ferro e aço, propriamente dizendo, da indústria siderúrgica e o uso do aço na construção civil. A utilização deste material no Brasil foi um processo tardio devido às altas temperaturas necessárias para ser fabricado e que acabavam encarecendo todo o processo e por consequência possuiu dificuldade tanto de popularização quanto a comercialização (Ferraz, 2003, p. 1).

Mesmo com um uso crescente deste material, seja por si só ou conjuntamente com outros materiais, o setor siderúrgico ainda é altamente intensivo no consumo de energia no processo de industrialização do aço e envolve grandes volumes de insumos materiais, poluentes e rejeitos³ (Costa, 2002, p. 2). Por uma explicação simplificada, o processo de fabricação do aço começa a partir da redução do minério de ferro (FeO), que é aquecido em fornos de altas temperaturas (alto forno) com presença de carbono (carvão vegetal, por exemplo) e de fundentes, assim diminui-se a quantidade de oxigênio presente.



A partir disso, obtém-se o denominado ferro-gusa, que vai ser processado durante mais fases de fusão até se reduzir o teor de carbono, passando por um processo de descarbonatação e resultando do aço (Ferraz, 2003, p. 1).

O resultado deste material propicia um produto construtivo rápido que possui a propriedade física de resistência à força de tração; por ser um produto pré-fabricado, como já citado anteriormente, apresenta uma racionalização de material e mão de obra e a quantidade de resíduo sólido da construção civil acaba sendo menor; permite a confecção de trabalhos em paralelo, como por exemplo, enquanto se fazem as fundações, as peças metálicas estão sendo fabricadas; permite a flexibilização em reformas, sendo possível incorporar novos elementos metálicos; possibilita uma maior área útil e distância entre vãos; e por fim facilita a desmontagem, que se comparada ao concreto, o processo de retirada do aço é muito mais simplificado.

.....

³ A extensão do impacto destes rejeitos pode se debruçar sobre o ocorrido no desastre ambiental de Mariana, em Minas Gerais - Brasil, o maior acidente com resíduos tóxicos de rompimento de barragens do país. "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, 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." (ROCHA & VENANCIO, 2017, p. 1)



Mesmo que haja menos resíduos sólidos no canteiro de obras e o aço permita uma facilidade de desmontagem, antes de todo este processo, desde a extração, transporte até o processamento, a indústria siderúrgica ainda apresenta altos impactos ambientais, não sendo, portanto, um processo de consciência ambiental em sua totalidade. Além disso, o aço não possui uma eficiência a resistência à compressão quando comparado a outros materiais; possui ainda a característica de se contrair e dilatar; e outra desvantagem é o nível de precisão e detalhamento que é fundamental para se utilizar este tipo de material na construção civil (Instituto de Engenharia, 2015).

Anteriormente ao uso do aço, como já visto, que houve um processo tardio de utilização no Brasil, uma das soluções recorridas era a utilização da madeira como método construtivo, e atualmente, sendo neste caso, o seguinte material mais descartado no país. Nos dias de hoje, a madeira é utilizada de forma definitiva apenas nas esquadrias, nas estruturas de cobertura, nos forros e nos pisos, porém seu fato de utilização e descarte se torna acentuado devido uso temporário na construção civil: na instalação do canteiro de obras, nos andaimes, nos escoramentos e nas fôrmas (Santos, 2017, p. 156).

Este material possui suas propriedades diretamente ligadas ao meio ambiente em que se desenvolvem, por se tratar de um ser vivo. A esta variabilidade acrescenta-se que a madeira é produzida por diferentes espécies de árvores, cada qual com características anatômicas, físicas e mecânicas próprias.



Dentre todos os tipos e espécies é possível citar um censo comum característico da madeira que são, por exemplo, o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, e cria na construção civil um perfil estrutural mais leve, com um peso/área de 73 Kg/m² (Naboni, 2017, p. 6; Zenid, 2011, p. 1).

O problema no uso deste material está no que já foi debatido em textos anteriores em relação à extração de recursos naturais, em que a madeira, por uma cultura assistida desde o “descobrimento do Brasil”, foi algo totalmente assolado ao desmatamento descontrolado. Mesmo que haja métodos silviculturais que buscam resguardar essa mancha histórica, como o reflorestamento, vem-se tentando criar um senso de consciência de maior cuidado com a madeira e uma diminuição da intensidade de seu uso.

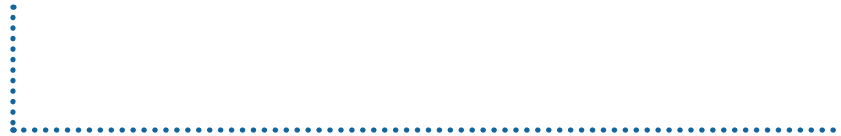
Além deste aspecto cultural, é possível também ressaltar problemas do material em si. Muitas peças de madeira possuem a presença de defeitos naturais (nós e bolsas de resina) ou de processamento (empenamentos e rachas de secagem), o que afeta a qualidade e desempenho na execução do material em obra, e muitas das vezes, por se tratar de um material que não foi desenvolvido industrialmente, como os pré-fabricados, o reaproveitamento da peça é baixo e talvez até descartado. Disso tudo, ainda há o fato da madeira ser um material higroscópico, suscetível à água, sendo que várias de suas propriedades físicas e químicas acabam sendo afetadas pelo teor de umidade presente. Se não tratada antes do uso, sua natureza biológica acaba submetendo-a



a diversos mecanismos de deterioração existentes na natureza. Vale ressaltar ainda que a essas características negativas acrescenta-se sua susceptibilidade ao fogo (Zenid, 2011, p.1).

Completando assim este estudo preliminar dos materiais, talvez sob os imperativos do crescente reconhecimento dos fracassos ecológicos do design moderno, inspirado pela sucessiva presença de métodos avançados de fabricação, gera uma motivação de melhoria no design contemporâneo para atenuar a realidade experimentada pela sociedade atual.

O acento da fabricação digital sempre esteve aliado a questão formal, da forma em si; desde a implementação e a ampla absorção de ferramentas de design computacional houve uma revisão formalista da arquitetura, em que formas geometricamente complexas tornaram-se emblemas da criatividade em ambientes de design digital e apoiavam o domínio do design de geometrias complexas na geração formal.





Vê-se então um potencial inovador criado, mas que ainda pede uma retificação dos conceitos dos designers e arquitetos referentes à forma-matéria, porque além dessa deficiência contemporânea, a inconsciência da forma e da matéria desencadeou o problema da forma-funcionalidade na arquitetura. Essa orientação formal e geométrica da arquitetura que tanto aborda a “forma livre” deveria com suas tecnologias facilitadoras, não deixar se perder na essência do design enquanto forma, enquanto matéria e enquanto função para assim promover um possível caminho de transformação global.







CENAS DE UM ROMPIMENTO: A FORMA E A FUNÇÃO

*“A forma construída deve
expressar em sua
maneira mais precisa tanto
sua função como sua força.”
(Viollet-le-Duc, 1863)*



A discussão entre matéria-forma, forma-função ou matéria-função, é um questionamento variável na história da arquitetura. Para até então, chegar ao patamar que vivenciamos, à arquitetura experimentou metodologias projetuais totalmente diferentes quando os assuntos se resumiam a estes três pontos. No texto anterior foi possível fazer uso da ideologia da desvinculação entre a matéria e a forma no cenário atual. A partir do momento em que a matéria se desvincula do conhecimento da forma, a função que tal corpo deveria assumir também se perde, rompendo uma cadeia de ligação no processo de design. Não é de hoje que essa ligação perdeu seu encadeamento, é possível delinear historicamente de como as diferentes fases da arquitetura foram separando os conceitos de forma e função, assim como uma foi se sobrepondo a outra.

A construção conceitual “forma” e “função” como elementos arquiteturais autônomos surgiram de uma analogia biológica. Em 1809, Jean-Baptiste Lamarck, figura importante na biologia mundial, ao estudar o corpo humano, propôs que não era a forma dos órgãos que determinava os hábitos e a maneira de viver do corpo – a dita função –, mas o contrário: o hábito determinava a forma dos órgãos e dos corpos (Martins, 2011, p. 40).

Em detrimento da Primeira Guerra Mundial e precursora da Segunda Guerra (início da década de vinte), os ideais racionalistas começaram a se difundir no meio arquitetônico como resposta a uma realidade experimentada (Fernandes, 2005, p. 2). A economia passou a reger toda a composição formal da arquitetura na busca por valores tecnológicos e de eficiência,



sendo assim as formas geométricas simétricas e plantas circulares vieram como grande tendência. Nesta fase por consequência, foi-se introduzindo a “grelha” como mecanismo de composição, que equacionava os problemas de disposição dos elementos na planta. Usando sempre duas dimensões e uma linha fina, o desenho desenvolvido com a grelha evitava os “efeitos atmosféricos” e sob uma malha desenvolvia-se uma arquitetura funcional, com a forma submetida a esta funcionalidade (Martins, 2011, p.37-38). A sistematização do ato criativo iniciada com o uso da grelha acompanhou o surgimento da arquitetura Moderna e criou bases para uma arquitetura em que a forma segue a função (Ibidem, p.45).

O Movimento Modernista se dá no meio arquitetural por diferentes fases, que reforçam ou divergem seus conceitos e trazem nomes famosos que ecoam até hoje na arquitetura. Não cabe neste trabalho especificar cada fase do modernismo e suas peculiaridades, mas sim reforçar como o sentido de forma e função foi sendo desvinculado. Em um dado momento, a arquitetura modernista caminhou para duas vertentes, uma que defendia a arquitetura orgânica, como grande nome em destaque o arquiteto Frank Lloyd Wright e outra uma arquitetura funcional, que tem como grande nome o arquiteto Le Corbusier (Collins, 1970, p.157).

O discurso de Wright buscava uma relação maior da arquitetura com a natureza em suas várias dimensões, enquanto o discurso de Le Corbusier preocupava-se com o caráter ético associado à criação formal: da honestidade, da simplicidade: a ‘verdade’ da forma resultaria a beleza (Martins, 2011, p. 47).



Neste momento a arquitetura então demonstra como a discussão entre forma e função adquiriu diferentes pesos nas teorias orgânicas e funcionais - já dissociadas: “(...) *na analogia funcional, a relação entre forma e função se considerava como necessária para a beleza, na analogia biológica, se considerava necessária para a vida*” (Ibidem, p.157).

Estes conceitos, principalmente o funcionalismo, foi sob efeito do tempo, sendo difundido e foi um marco na história da arquitetura devido o impacto que o Movimento Moderno causou na sociedade, principalmente por sua longínqua duração histórica. Como até aqui já foi dito, as ações geram respectivas reações. E qual seria a consequência experimentada pela falta de correlação entre forma e função após o declínio dos princípios modernistas?

Espantosamente, foi como se na cidade do início dos anos 1960, dado uma realidade de expansão ligeira, a arquitetura estivesse ausente e os novos edifícios surgissem mecanicamente, alheios à cidade e à sociedade, visivelmente ressentida da falta de valores humanos (Martins, 2011, p. 55). Em resposta a isso veio o “Pós Modernismo”, que surgiu de uma arquitetura autonomamente crítica. O Pós-Modernismo não negou a tradição do Movimento Moderno, mas quis confrontá-lo, diretamente nos seus fundamentos mais enraizados, para tentar extrair do movimento moderno um certificado de legitimidade histórica.

Os posicionamentos críticos propostos pelos arquitetos da época foram afrouxando a relação estabelecida entre



os elementos da equação “a forma segue a função”, e passaram a priorizar ora a forma, ora a função. Os arquitetos desta época escaparam da definição estritamente funcionalista ao desenvolver a forma a partir da função, sem necessariamente adequar uma a outra. Enquanto uns dissolveram - esconderam a função em favor da fluidez espacial/formal -, alguns usaram a função como dado - um input para desenvolver a forma -, e outros selecionaram uma forma de seu repertório para satisfazer a função (Ibidem, p. 55).

Atualmente, por definição, no período contemporâneo da arquitetura, a conotação de forma e função se perdeu totalmente do que era estabelecida anteriormente. No âmbito da metodologia, estes elementos de projeto não possuem mais uma relação de subordinação e nem significados pré-concebidos: “(...) a forma é considerada envelope - por sua maleabilidade, sua porosidade, a mediar à relação entre o programa, o exterior e o usuário; a função estática, unilateral, torna-se definitivamente programa - multifuncional, multissensorial, em movimento” (Ibidem, p. 100). Agora, a forma e a função na arquitetura contemporânea precisam apresentar uma resposta à necessidade de velocidade do sistema econômico, de uma “Modernidade líquida” e na sociedade pós-industrial, ela deve ser alcançada através da certeza de flexibilidade máxima do programa (Ibidem, p. 112).

O invólucro assumiu um papel efêmero na arquitetura, além da necessidade de conexão com o lugar tanto fisicamente (interior/paisagem/cidade) quanto conceitualmente (história/simbologias), a forma que deveria assumir agora



o desafio de propor conexões e possibilidades de existência com a realidade, vem na verdade experimentando uma “arquitetura de fachada”, por assim dizendo uma “arquitetura maquiada”. Muitas das vezes sendo um reflexo de design de projeto em que a forma se tornou apenas uma tentativa de participar do sistema de mercado utilizando-a como imagem; ou ainda uma mera consequência – já experimentada pelos modernistas – de uma planta funcional e o envelope é apenas um desdobramento corriqueiro de desenho.

Se antes a forma era convencionada de maneira específica e de difícil acesso a todos e hoje se tornou esse invólucro de mensagem estática e rápida apreensão, a função - ou nos dias de hoje, o programa de um edifício - tornou-se algo complexo, garantindo seu funcionamento, sua atração, sua comunicação com o usuário, informando primordialmente possibilidades de ação - divertimento, serviços, informação, e se possível tudo isso ao mesmo tempo. O programa, contemporaneamente, tem versado cada vez mais sobre ações ao invés de funções, sendo definido por verbos e não por substantivos (Ibidem, p. 110). O maior problema disso é que nem a forma e nem a função são características específicas deste tempo, elas se distanciaram tanto de sua natureza básica que perderam suas correlações e passam ainda a criar canais cada vez mais deficientes de arquitetura (Venturi, 2004, p. 8).

Cabe aqui então pensar três pontos chaves na relação à formalidade e à funcionalidade, não equacionados como vieram acontecendo com o tempo, mas sim de maneira confluentes e articuladas entre si. (1) A primeira é que os meios de expressão da arquitetura devem ser reexaminados



para que expressem perspectivas ampliadas da arquitetura, assim como a complexidade de suas metas. As formas simplificadas ou superficialmente complexas não funcionam mais. Em vez disso, a variedade inerente à ambiguidade da percepção visual deve ser reconhecida e explorada. (2) Um segundo ponto são as crescentes complexidades dos problemas funcionais também devem ser reconhecidas. E por fim, (3) entender que existe uma tensão entre o interno e externo dos edifícios e que isso faz a arquitetura. A parede deve ser vista como um ponto de mudança que acaba se tornando um evento arquitetônico, porque além de se virar para um meio interior e íntimo ela se volta para a vista urbanística (Ibidem, p. 8).

Dado este capítulo, entre metáforas e críticas, a continuidade deste trabalho, que tem como foco trazer uma possível solução que margeia tudo que já foi comentado, principalmente tratando das questões de: matéria, forma e função, é importante acentuar que:

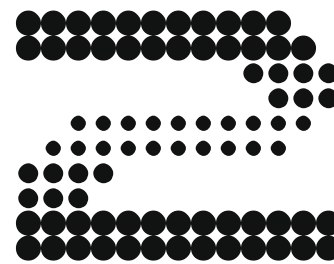
O QUE SERIA MELHOR PARA ENTENDER A MATERIALIDADE, A FUNÇÃO E A FORMA COMO CONJUNTO ÚNICO EM CADEIA DO QUE ESTUDAR AS RELAÇÕES DA NATUREZA, QUE JÁ TRABALHAM EM UNÍSSONO HÁ MILHÕES DE ANOS?







**DIALÉTICA DO DEVANEIO:
A ARQUITETURA COMO UM ORGANISMO VIVO**





*Latim, natura, comp. Pelo tema]
natus, p.pass. de
nascere = nascer e
urus = sufixo do particípio
futuro de oritur = surgir, gerar,
a força que gera.*

Sob um olhar atento à natureza fez-se um dos maiores filósofos do mundo, lhes apresento Aristóteles (384 a.C a 322 a.C.). Sob um olhar atento à natureza fez-se um dos físicos mais bem conceituados até a atualidade, lhes apresento Albert Einstein (1879 - 1955). Sob um olhar atento à natureza se fez um dos nomes da arte que ecoam até hoje nas academias, lhes apresento Claud Monet (1840-1926). Sob um olhar atento à natureza, lhes apresento o devaneio da arquitetura como um organismo vivo, arquitetura essa no processo de construção e reconstrução do conceito de natureza, vislumbrados por uma perspectiva “multidimensional” do conhecimento científico (Medeiros, 2002, p. 80).



No longo percurso em busca de uma identidade aglutinadora e do estabelecimento de bases epistemológicas⁴ convincentes, a visão de natureza sob o olhar do homem foi se modelando a partir das diferentes perspectivas experimentadas pela realidade. Como fundamento metodológico do raciocínio, o desenvolvimento deste capítulo será guiado por duas correntes filosóficas naturais: a racionalista e a idealista. Mesmo sendo correntes que chegam a um limiar de ponderamentos divergentes, ambas serão fundamentais para encadear as bases deste “devaneio”.

Assim sendo, o início deste capítulo é dado pela corrente racionalista e a sistematização da “dialética” de G.W. Hegel, que adquire sua forma plena através das obras de Karl Marx e Friedrich Engels (Funape, [20-?], p. 51). Para efeitos de primeiro contato, a dialética é, amplamente falando, o conflito originado pela contradição entre princípios teóricos ou fenômenos empíricos. O princípio dialético estabelece que toda premissa verdadeira possui como correspondente sua não menos verdadeira, a negação [...](Bourgeois, p. 421-422).

Para Hegel, a exemplificação da dialética não fugiria das questões naturais como processo contraditório:

.....

⁴ Reflexão geral em torno da natureza, etapas e limites do conhecimento humano, esp. Mas relações que estabelecem entre o sujeito indagativo e o objeto inerte, as duas polaridades tradicionais no processo cognitivo; teoria do conhecimento (Weiszflog, 2007).



“A natureza é assim também, alienação do conceito ou da razão, no sentido em que nela o conceito está como simples essência, e a razão como simples entendimento; quer dizer, sob a forma de negação de si. A natureza é, por essa negatividade dialética, o processo da contradição de si.”

(Bourgeois, p. 421-422)

Esta contraditoriedade da natureza fica expressamente compreensível quando a análise de Hegel passa a ser adotada por Marx e Engels, que eleva a dialética para o conceito de materialismo dialético, em que o conhecimento é um processo permeado por contradições constantes entre o sujeito e o objeto, contradições que são a fonte do desenvolvimento do processo cognitivo (Funape, [20-?], p.53). Como já mostrado nos subitens do capítulo anterior, a história humana, ou arquitetural e até a natural, são marcadas por constantes cisões.

No final do século XX há uma cisão radical entre o sujeito e objeto, em que o sujeito é único e o mundo, seu objeto. É deste dualismo que surge a gênese filosófica da crise ecológica moderna, pois a partir dessa cisão, a natureza não é mais que um objetivo passivo à espera do corte analítico. A visão de natureza é dissociada dos seres humanos, que se retiram da natureza. *“Eles veem a natureza como quem olha uma fotografia”* (Medeiros, 2002, p. 75). Desta ambivalência ora antropocêntrica ora biocêntrica, a sociedade, além de se esquecer da natureza,



se esqueceu também do homem e toda sua herança biológica e cósmica (Ibidem, p. 79-80). Esta é uma visão, ou uma das visões que são abordadas no último século pelo racionalismo filosófico, e que de véras é corriqueira no cotidiano humano.

Porém, anterior ao racionalismo filosófico, existiu no século XVIII a visão (a) racionalista determinista e a (b) visão do positivismo evolucionista, que determinava a natureza como uma grande cadeia e a sociedade como parte de tal cadeia. Com o tempo, mesmo o racionalismo filosófico ganhando força, o racionalismo determinista acabou por fundamentar em partes uma corrente reversa, a corrente do idealismo, em que há uma tendência de ver a natureza como dotada de autonomia, ligada à ideia de um todo (Cidade, 2011, p. 114).

Para começar este devaneio, a temática do idealismo será a abordagem principal, pensando em efeitos posteriores, que a arquitetura é um produto humano, mas não descartará a dualidade da dialética como fundamentação de questionamentos pertinentes.

A partir do rompimento conceitual entre homem e natureza da corrente racionalista, criou-se como consequência a diferenciação entre os sentidos de natureza e de meio ambiente. A natureza, em sua amplitude, equivale ao “mundo natural” ou “universo físico” e faz referência aos fenômenos do mundo físico, e também à vida em geral. Geralmente o termo natureza não inclui os objetos construídos pelo homem - a arquitetura por exemplo. O meio ambiente é:



**“[...] TODA RELAÇÃO, É MULTIPLICIDADE DE RELAÇÕES. É RELAÇÃO ENTRE COISAS, COMO A QUE SE VERIFICA NAS REAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS ELEMENTOS PRESENTES NA TERRA E ENTRE ESSES ELEMENTOS E AS ESPÉCIES VEGETAIS E ANIMAIS; É A RELAÇÃO DE RELAÇÃO, COMO A QUE SE DÁ NAS MANIFESTAÇÕES DO MUNDO INANIMADO COM A DO MUNDO ANIMADO [...]”
(DULLEY, 2004, P. 19).**



O questionamento em si fica na frase de que a natureza não engloba objetos de concepção do homem: e se pensarmos na arquitetura como um organismo vivo, envolto pela corrente idealista de uma totalidade complexa - de que tudo pertence a um todo - será possível construir o pensamento de que tudo seria natureza? Será que levantar este “devaneio” seria reforçar a dialética no sentido de que arquitetura construída pelas “mãos dos homens” é a negação mais pura do sentido de natureza, logo então este processo da contradição da negatividade incluiria a construção como natureza? São pensamentos de ideologias diferentes, mas que conversam entre si dada tal contextualidade. Para enraizar este pensamento, pode-se tirar parâmetros, nada mais nada menos, pelo próprio corpo humano.

É possível delinear uma grande ampliação do emprego de metáforas vinculadas à biologia nas representações e no vocabulário sobre a arquitetura e o urbanismo. Este estreitamento dos vínculos entre biologia e o campo arquitetural-urbanístico evidencia mais um dos avassaladores impactos causados pelas descobertas e debates travados no campo da biologia século XIX. A ascensão das pesquisas e descobertas científicas no campo da biologia foi correlata à origem de novas disciplinas e áreas de especialização. A própria biologia surge no início do século XIX após se dissociar da zoologia, em um movimento que originaria, em seguida, áreas como a frenologia - estudo do cérebro. Neste contexto, tal século chegou a ser definido como o “século da biologia” (Gunn & DE BARROS Correia, 2001, p. 38).



Mesmo que “recente” essa unção etimológica, as analogias entre formas arquitetônicas e o corpo humano são remotas. Especulações sobre antropometria, iniciadas no século 5 a.C., conduziram a teoria do belo no período clássico. Além de modelo de ordem e de funcionalidade, o corpo - se bem proporcionado - também é fundado em parâmetro de beleza para as formas arquitetônicas. Vitruvius justificava a necessidade de simetria e proporção nos templos, associando-as com a relação existente entre os membros do cânone do corpo belo. Argumentava que tal como no corpo humano, a beleza está na proporção simétrica entre os membros; no edifício, a magnitude geral do conjunto depende de relações simétricas entre suas diversas partes (Ibidem, p. 36).

A aplicação dos conceitos clássicos de antropometria orgânica na arquitetura foi retomada no renascimento. Em meados do século XV, Alberti alude semelhanças entre o edifício e o corpo vivo, postulando uma arquitetura capaz de reproduzir algumas de suas qualidades: *“O edifício é como um organismo animal e para delinear-lo é necessário imitar a natureza.”* Tal imitação busca a partir de uma investigação da morfologia natural - como a análise métrica do corpo - extrair princípios gerais e aplicá-los à arquitetura, dotando-a artificialmente de unidade orgânica (Ibidem, p. 36).

Alberti expõe ainda que da mesma forma como cada membro do corpo possui sua funcionalidade, a beleza do prédio não deve se esgotar em uma só parte, mas impregná-lo no todo; da mesma forma que no organismo animal cada membro está de acordo com os demais, no edifício cada parte deve estar de



acordo com as outras. Deste princípio de relação entre as partes e o todo, entende-se uma noção de hierarquia e composição fundamentais em sua teoria arquitetônica: postulando que as partes fundamentais do edifício devem estar destinadas às suas funções essenciais, que o tamanho de cada parte da edificação deve ter uma proporção com as das demais e que os prédios grandes devem ter os membros maiores (Ibidem, p. 36).

A noção do corpo humano como parâmetro para a criação de formas arquitetônicas continua evoluindo até o século XVIII, por exemplo, quando o arquiteto Étienne-Louis Boullée recomendava que os demais arquitetos estudassem a “teoria do volume e analisá-la, procurando compreender suas propriedades, os poderes que têm sobre nossos sentidos, suas similaridades com o organismo humano”. Assim, chega-se ao século XIX, denominado por alguns autores, como dito acima, o “século da biologia” (Ibidem, p. 36).

Curioso é perceber nessa evolução como que o corpo em si é universal, todos os animais possuem uma entidade orgânica que os caracterizam. Mas a percepção ou interpretação do que seja o corpo e os reflexos de seus padrões é bem subjetiva ou individual e com respostas bem localizadas culturalmente. Mas o que é o corpo? Segundo a definição do Magno Dicionário, corpo é: “unidade orgânica ou inorgânica que ocupa lugar no espaço. Parte material do ser em oposição ao seu animus” (Cavalcanti, 2005, p. 53). Sendo assim já é possível começar findar este devaneio de que a arquitetura é um corpo, até aqui inorgânico, mas que neste devaneio poderá chegar a se aproximar ao orgânico.



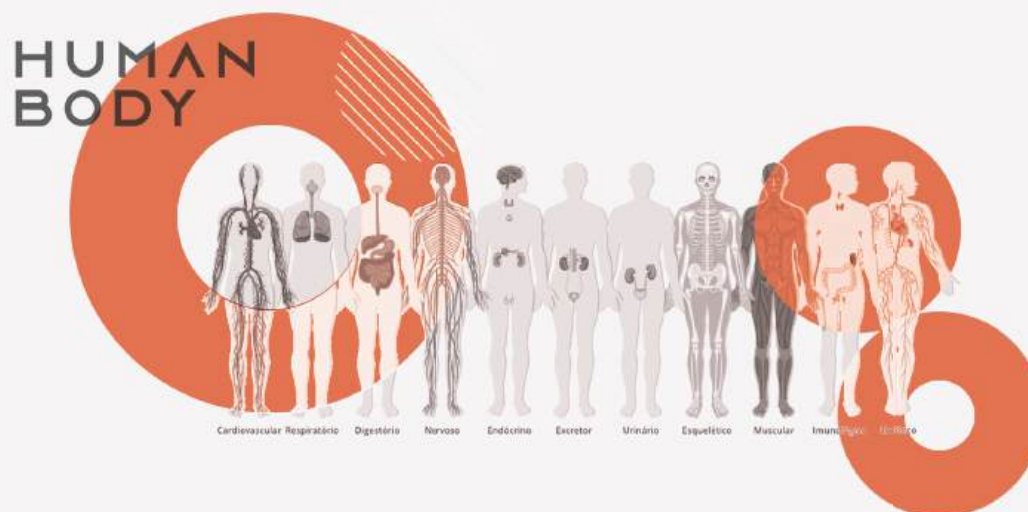
Esta analogia será dada a partir da consideração da anatomia e fisiologia humana e de seus sistemas e subsistemas organizacionais.

De acordo com Tortora & Derrickson (2016, p. 1), as estruturas do corpo humano estão organizadas em vários níveis, como por exemplo, a organização das letras do alfabeto, das palavras, das frases, dos parágrafos e assim por diante. Em ordem crescente, a anatomia humana é dividida em seis níveis diferentes de organização do corpo humano: (1) **químico**, (2) **celular**, (3) **tecidual**, de (4) **órgãos**, de (5) **sistemas** e de (6) **organismo**.

De maneira geral, para entender esta hierarquia, é possível estabelecer correlações múltiplas: toda matéria é composta por partículas denominadas de átomos, átomos estes que podem combinar-se e formar moléculas (1). As diferentes moléculas orgânicas formam as chamadas organelas celulares, que, por sua vez, formam as células – estruturas consideradas a unidade funcional dos seres vivos (2). Existem seres vivos formados apenas por uma única célula, enquanto outros possuem uma infinidade dessas estruturas, como é o caso do corpo humano. Tais células se iguais e unidas, desempenham a mesma função, que são chamadas de tecidos (3). As composições teciduais estão organizadas em órgãos (4). Os órgãos, por sua vez, estão interligados para desempenhar uma função maior, formando, assim, os sistemas (5). Por fim, estes sistemas estão todos interligados por um bem maior, que é o funcionamento do organismo como um todo (6).



Em toda esta cadeia, para sustentar mais rigidamente este “devaneio”, será feito no contexto do corpo um recorte metodológico já como um sistema. O corpo humano possui diferentes sistemas que unidos desempenham um bem maior do organismo, estes sistemas são: (a) cardiovascular, (b) respiratório, (c) digestório, (d) nervoso, (e) sensorial, (f) endócrino, (g) excretor, (h) urinário, (i) reprodutor, (j) esquelético, (k) muscular, (l) imunológico, (m) linfático e (n) tegumentar (imagem 4) (APPLEGATE, 2012, 2-380). Este recorte se dá justamente porque a palavra “sistemas” é trazida das ciências naturais para a arquitetura, que também se divide em sistemas que juntos se comportam com o bem maior da funcionalidade arquitetural, sejam eles o sistema estrutural, elétrico, hidráulico, de vedação e assim por diante, que será melhor correlacionado a seguir.

IMAGEM 4: DIFERENTES SISTEMAS QUE COMPÕEM A ANATOMIA HUMANA.

fonte: Autoria própria.



Embora seja difícil estabelecer padrões para a vida humana e a arquitetura, posto que fatores culturais e sociais exercem muitas influências em ambas as áreas, é possível estabelecer que os dois sofrem um processo dinâmico e progressivo. Na vida humana, os corpos estão fadados a basicamente três grandes fases na vida: início, desenvolvimento e fim, sofrendo ações do tempo dadas modificações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e psicológicas (Moi, 2004, p. 7; Gonçalves, 2016, p. 79). Em uma visão geral, a arquitetura, enquanto organismo vivo, também está fadada a este mesmo amplo ciclo vital. De acordo com a autora Gonçalves (2016, p. 82), o primeiro passo no desenvolvimento de um único ser humano é o momento da concepção. A palavra concepção é o que justamente surge à arquitetura, da concepção da ideia e da representação do ideal, tornando assim seu nascimento possível (Baron & Francisco, 2015, 131).

Dado seu nascimento, se dá a fase do desenvolvimento: na vida humana são demarcadas pelo seu crescimento, amadurecimento e envelhecimento, que nada mais é do que o fato de, nessa analogia, erguer a arquitetura e ela se firmar com o tempo num determinado espaço. Por fim: o fim. Após passar pelas fases da vida, a morte marca o final de um processo único, caracterizado pelo desenvolvimento de cada ser humano (Gonçalves, 2016, p. 106), assim se dá uma arquitetura “castigada” pelo tempo, determinada pela perda gradual de sua adaptação ao meio ambiente, se tornando vulnerável de maiores incidências patológicas, se fazendo presente em seus restos, sua ruína ou na memória (Moi, 2004, p. 7).



A partir do momento em que a arquitetura como um organismo vivo é delimitado por um ciclo vital, se faz presente a formulação de um corpo que está predestinado a um estudo anatômico de suas partes. Para iniciar a analogia corpo humano e arquitetura enquanto um mapeamento da ciência anatômica, nada faz mais jus neste trabalho do que começar pela histologia, área que abrange o estudo dos tecidos.

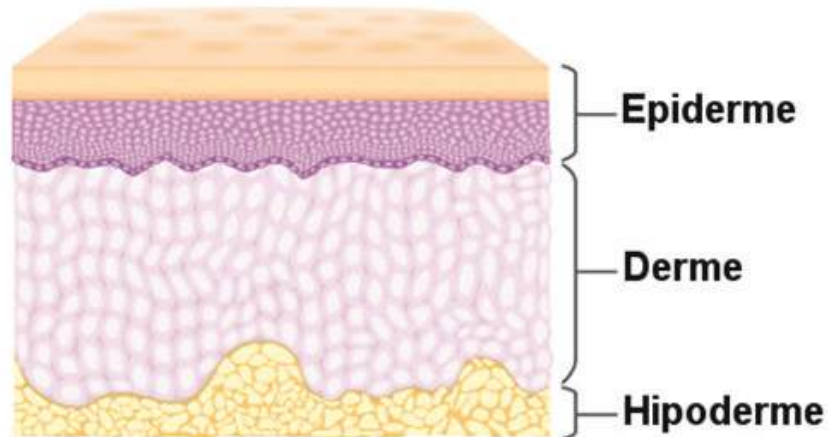
O corpo é um ente físico delimitado sob a pele, que se torna a última fronteira do indivíduo (Cavalcanti, 2005, p. 54). Nas últimas décadas, a metáfora da pele adquiriu uma “condição de contorno” que abrange todo o espectro de produtos do design contemporâneo, margeando desde a mídia ao design de produto, da arquitetura até moda. No campo arquitetural, o acréscimo das qualidades inerentes ao envelope externo dos edifícios – decoração, simbolismo, capacidade comunicativa e, mais recentemente, potencial experimental – consolidou a metáfora da pele como sinônimo contemporâneo de maior teor conotativo para definição das fachadas arquitetônicas (Martinez, 2014, p. 154).

Biologicamente falando, o sistema tegumentar recobre todo o corpo, sendo assim o maior órgão humano. Este sistema é composto pela epiderme, de epitélio estratificado pavimentoso queratinizado, e pela derme, de tecido conjuntivo. Subjacente, unindo-a aos órgãos, há a hipoderme (ou fáscia subcutânea), de tecido conjuntivo frouxo e adiposo (Junqueira & Carneiro, 2013, p. 354). A epiderme (Imagem 5) é a camada superficial da pele que se origina do ectoderma e é distinguida em quatro camadas: o estrato basal, o estrato espinhoso, o estrato granuloso e o estrato córneo.



A derme subjacente (Imagem 5) é o tecido conjuntivo onde a epiderme se apoia e se une ao tecido celular cutâneo ou hipoderme, nela contém os anexos cutâneos, os vasos sanguíneos e linfáticos, os nervos e as terminações nervosas sensoriais. A hipoderme (Imagem 5) é o tecido subcutâneo, ela auxilia a isolar o corpo das variações extremas do meio ambiente e fixa a pele às estruturas subjacentes (Strauss & Matoltsy, 1981, p. 486).

IMAGEM 5: ESTRATIFICAÇÃO DA PELE HUMANA.



Pele Humana. FONTE: BIOLOGIA NET, 2018. Disponível em < <https://biologianet.uol.com.br/anatomia-fisiologia-animal/sistema-tegumentar.htm> >

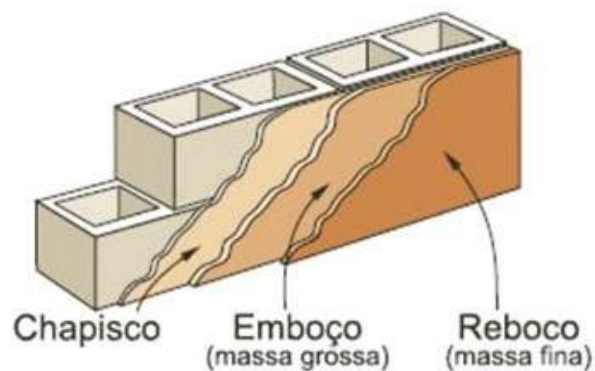


Essa estratificação faz com que a pele desempenhe diversas funções que abrangem o primeiro contato entre o externo e o interno, recebendo sensações contínuas do meio ambiente, protegendo o corpo contra atritos e lesões, invasões de microrganismo e dessecação (perda de água). Protege ainda da radiação ultravioleta (UV) e desempenha o papel regulador da temperatura do corpo (Junqueira & Carneiro, 2013, p. 354). No devaneio aqui proposto, na arquitetura, o Sistema Tegumentar pode ser atrelado ao Sistema de Vedação, mais especificadamente, o subsistema de vedação vertical. Assim como na pele humana, a “pele arquitetural” ou a vedação, é um dos principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício, sendo que funcionando de maneira sistêmica, assim como no corpo humano, é responsável por características ligadas ao conforto higrotérmico, pela segurança contra atritos e forças físicas de utilização, pela defesa de agentes microbióticos e frente a ações excepcionais e pela caracterização estética (Franco, 1998, p. 3).

O “Sistema Tegumentar Arquitetural”, assim como no Sistema Tegumentar Humano, também passa por um processo de estratificação. Para facilidade análoga, derivando do sistema construtivo de vedação vertical mais utilizado no Brasil, é possível perceber em paredes de alvenaria como a “pele arquitetural” se divide em diferentes camadas com diferentes funções. Na imagem 6 é compreensível que as paredes de alvenaria possuem uma subdivisão básica em: (a) o chapisco pode ser correlacionados à hipoderme; (b) o emboço pode ser correlacionada a derme; e (c) a camada de reboco, que pode ser atrelada à epiderme (Tavares, 2044, p. 3-4).



IMAGEM 6: ESTRATIFICAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL DE VEDAÇÃO VERTICAL EM ALVENARIA.



Parede em Alvenaria. FONTE: ESCOLA ENGENHARIA, 2018. Disponível em < <https://www.escolaengenharia.com.br/diferenca-reboco-emboco-e-chapisco/> >



Como já dito anteriormente, este olhar análogo sobre a pele para além de uma ciência biológica e médica, neste caso que vem atingindo a arquitetura, também permeia diversos outros campos. Em um trabalho fotográfico chamado de “Urban Exploration”, o fotógrafo chinês Jared Lim uniu arte, biologia e arquitetura através da percepção do olhar sob a forma construída. Para além da pele humana, mas sim para as diferentes peles dos seres vivos na natureza, ele foi capaz de registrar com parcimônia e delicadeza uma desconstrução da escala arquitetônica, explorando as superfícies mais comunicativas do edifício ao aproximar as geometrias de uma observação afetiva, investigando as cores, composições, linhas e curvas nas relações da pele construída. Este é um trabalho contínuo de Lim, que aborda em suas imagens as fachadas e padrões rítmicos de construções em diversas metrópoles, de Frankfurt a Pequim, para o fotógrafo:

“Fotografar é instintivo. As fachadas dos edifícios têm personagens distintos, como os seres vivos. Prefiro extrair desenhos de um edifício que conte uma história em vez de fotografar todo o edifício.”

(Asensio, 2013, p.1).

Seguem algumas imagens do trabalho de Jared Lim do projeto “Urban Exploration”.



JARED LIM



Imagem 7: Projeto “Urban Exploration”. FONTE: ARCHIDAILY, 2013, Disponível em < <https://www.archdaily.com.br/br/01-123304/arte-e-arquitetura-exploracao-urbana-slash-jared-lim> >



Imagem 8: Projeto “Urban Exploration”. FONTE: ARCHIDAILY, 2013, Disponível em < <https://www.archdaily.com.br/br/01-123304/arte-e-arquitetura-exploracao-urbana-slash-jared-lim> >



JARED

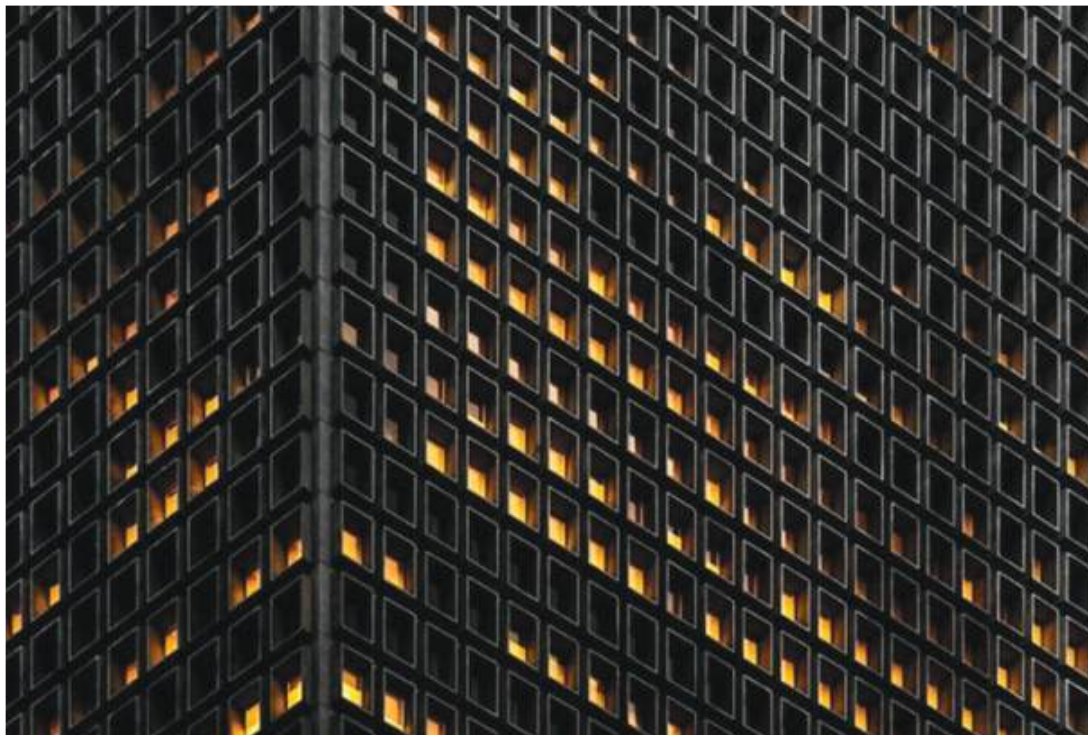


Imagem 9: Projeto “Urban Exploration”. FONTE: ARCHIDAILY, 2013, Disponível em < <https://www.archdaily.com.br/br/01-123304/arte-e-arquitetura-exploracao-urbana-slash-jared-lim> >

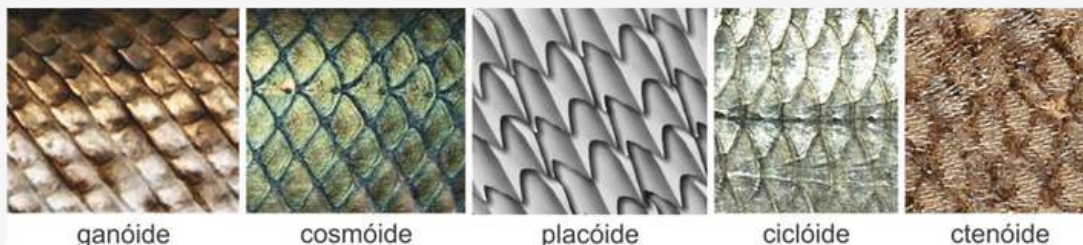


Imagem 10: Projeto “Urban Exploration”. FONTE: ARCHIDAILY, 2013, Disponível em < <https://www.archdaily.com.br/br/01-123304/artes-e-arquitetura-exploracao-urbana-slash-jared-lim> >



Para parâmetros comparativos, uma imagem com alguns exemplos de tipos de peles animais (imagem 11):

IMAGEM 11: TIPOS DE ESCAMAS.



ganóide

cosmóide

placóide

ciclóide

ctenóide

Tipos de Escamas em animais subaquáticos. FONTE: RESEARCHGATE.COM, 2011, Disponível em <https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Tipos-de-escamas-dos-peixes-escamas-ganoides-de-pirarucu-Arapaima-gigas_fig6_242331096>





Pensar na pele é também pensar no reflexo da materialidade formal do corpo, e a formado corpo se concede a partir de sua estruturação. Na biologia, o estudo das estruturas corporais é dado pelos campos da miologia e da osteologia, estudo dos músculos e estudos dos ossos, respectivamente. É praticamente impossível falar do Sistema Muscular sem falar do Sistema Ósseo e vice e versa, já que um é totalmente complementar do outro. O esqueleto funciona como um arcabouço do corpo, proporcionando suporte aos tecidos moles e provendo pontos de fixação para a maioria dos músculos do corpo (Spence, 1991, p. 95). Como contraponto, a musculatura – que constitui cerca de metade do peso total do corpo – também segura à estática do corpo humano, mantém unidas as peças ósseas determinando a posição e a postura do esqueleto (Fattini & Dangelo, 2002, p. 43). Esta ligação entre sistemas de numerosos músculos presos ao esqueleto e subjacentes à pele (Spence, 1991, p. 187) desempenham juntos, além da função estática do corpo, uma série de funções. Na arquitetura, ambos os sistemas podem ser representados, unidos, pelo Sistema Estrutural. Independente da gama de tipologias estruturais, este Sistema na arquitetura é o que dá postura, sustentação e conformação do corpo construtivo, assim como no corpo humano (Fattini & Dangelo, 2002, p. 13).

Em uma correlação com a arquitetura, o sistema estrutural e na biologia, os sistemas muscular e ósseo (Inojosa & Buzar, 2015, p. 1) além da função de estruturação permitem o movimento. No corpo fala-se no movimento cinético, na arquitetura a estrutura reflete de maneira intrínseca o movimento (imagem 12). No corpo humano, este movimento é a ação muscular sendo resultado da ação das células



musculares individuais, passíveis de sofrerem ações de forças físicas. Tais células musculares são especiais pelo fato de serem as células do corpo que melhor exibem a propriedade da contratibilidade – que lhes permite encurtar-se e desenvolver tensão (Spence, 1991, p. 187). Não tão diferentemente disso, as estruturas no campo da arquitetura também sofrem constantemente ações de forças físicas e responde de maneira sistêmica através da tração e da compressão, estas tensões (Inojosa & Buzar, 2015, p. 3).

IMAGEM 12: COLAGEM COMPARATIVA ENTRE A OBRA CASA DANÇANTE, DE FRANK GHERY (CONSTRUÇÃO ENTRE 1994-1996) E UM CORPO PLENO EM SUA MOVIMENTAÇÃO DA DANÇA DE TANGO.

**BODY
SYSTEMS**



TANGO



DANCING
HOUSE



Com a estruturação e sustentação da pele, até aqui já temos minimamente uma visão em mente de um corpo e de uma arquitetura como um corpo. Para continuar este devaneio e entender a importância do próximo sistema do corpo humano a ser apresentado, é importante considerar um parâmetro de analogia importante: o ser humano, o usuário da arquitetura, o também ser natural, em toda esta “dialética” do devaneio, como uma célula. Já está bem estabelecido que todos os organismos, desde as bactérias até os seres humanos, são compostos por unidades celulares.

Com o tempo, as células nos homens e organismos se tornaram especializadas tanto anatomicamente quanto fisiologicamente (Spence, 1991, p. 21). Esta analogia ser humano/célula pode ser fortificada pela demarcação do homem enquanto ser diferente, com pensamentos diferentes, ações diferentes, da unidade se inicia a ideia, de onde se começa a arquitetura - uma célula inicial e criadora, uma principal base do desejo de se fazer e criar (Baron & Francisco, 2015, 131). Posteriormente o tema homem-célula voltará em questão, mas o foco é introduzir a necessidade básica que as células possuem de respirar: “em qualquer forma que se apresente, a respiração é uma das características básicas dos seres vivos” (Fattini & Dangelo, 2002, p. 106). Assim, o próximo sistema passível de analogia, é o Sistema Respiratório.

Para que as células do corpo possam desempenhar suas atividades metabólicas em condições aeróbicas, elas necessitam de um suprimento constante de oxigênio e uma maneira eficiente de remover o dióxido de carbono produzido nas suas atividades.



Para que as células do corpo possam desempenhar suas atividades metabólicas em condições aeróbicas, elas necessitam de um suprimento constante de oxigênio e uma maneira eficiente de remover o dióxido de carbono produzido nas suas atividades. O suprimento de oxigênio e a remoção do dióxido de carbono são feitas pelo sistema respiratório (Spence, 1991, p. 515). Levando em consideração do ser humano ser análogo às células do corpo, mantendo a lógica de que as células necessitam da função básica de respiração, “o canal”, parafraseando a biologia em seus termos, seria espelhar a funcionalidade do sistema respiratório, mais especificadamente sua composição dada por vias aéreas de entrada do ar com o Sistema de Vedação, dado pelas esquadrias. Anteriormente o Sistema de Vedação foi comparado com o Sistema Tegumentar, porém no caso anterior foi considerado o subsistema arquitetural de fechamentos, formando assim a pele, neste caso o subsistema considerado é o de esquadrias (portas e janelas). Mesmo que pareça uma repetição, é possível perceber em que como as relações do corpo se apresentam particularmente interligadas de maneira sistêmicas, e num campo filosófico, reforça ainda mais nas reflexões dialéticas que este texto se propôs a apresentar.

São pelas esquadrias que a ação aeróbica da arquitetura se torna possíveis, é por onde o oxigênio circula e o gás carbônico se dissipa, é a conexão direta entre o externo e o interno de maneira contínua, é daí que fazem as “células” respirarem. Este sistema, o Respiratório, na anatomia humana não faria jus em sua totalidade sem que fosse conectado ao Sistema Circulatório. A manutenção da vitalidade dos organismos



é dada pela unção básica que sistema circulatório desempenha: levar material nutritivo e oxigênio às células. Assim, o sangue circulante transporta material nutritivo que foi absorvido pela digestão dos alimentos às células de todas as partes do organismo. Da mesma forma, o oxigênio, que é incorporado ao sangue, quando este circula pelos pulmões, será levado a todas as células. Além desta função primordial, o sangue circulante transporta também os produtos residuais do metabolismo celular, desde os locais onde foram produzidos até os órgãos encarregados de eliminá-los. O sangue possui ainda células especializadas na defesa orgânica contra substâncias estranhas e microrganismos (Fattini & Dangelo, 2002, p. 89).

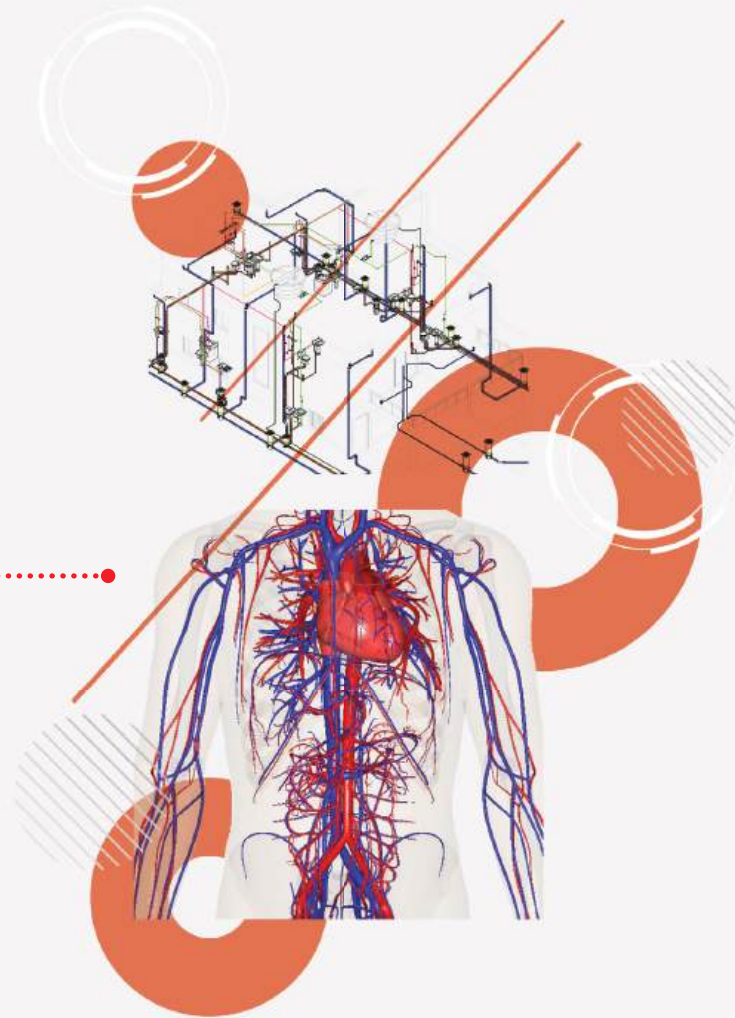
O sistema circulatório é um sistema fechado, constituído por tubos, no interior dos quais circulam humores. Os tubos são chamados vasos e os humores são o sangue e a linfa. Sendo um sistema tubular hermeticamente fechado, as trocas entre o sangue e os tecidos vão ocorrer em extensas redes de vasos de calibre reduzido e de paredes muito finas – os capilares. Por meio da permeabilidade seletiva, que processa através de fenômenos físico-químicos complexos, material nutritivo e oxigênio passam dos capilares para os tecidos, e produtos do resíduo metabólico, inclusive CO₂, passam dos tecidos para o interior dos capilares (Fattini & Dangelo, 2002, p. 89). A associação entre sistemas da arquitetura e da anatomia humana já se faz presente a partir da terminologia “tubos”, reforçado ainda pelo fato de serem tubos que circulam por todos os espaços do corpo (humano e arquitetural).



Assim como o Sistema Circulatório do corpo humano transporta os líquidos essenciais a vitalidade do corpo, na arquitetura o Sistema Hidráulico circula o líquido essencial à vida humana, a água (Tucci, Hespanhol & Netto, 2003, p. 33) (Imagem 13).

IMAGEM 13: COLAGEM COMPARATIVA ENTRE UMA MODELAGEM 3D DE UM PROJETO HIDROSSANITÁRIO E A COMPOSIÇÃO DO SISTEMA CIRCULATÓRIO HUMANO.

**BODY
SYSTEMS**





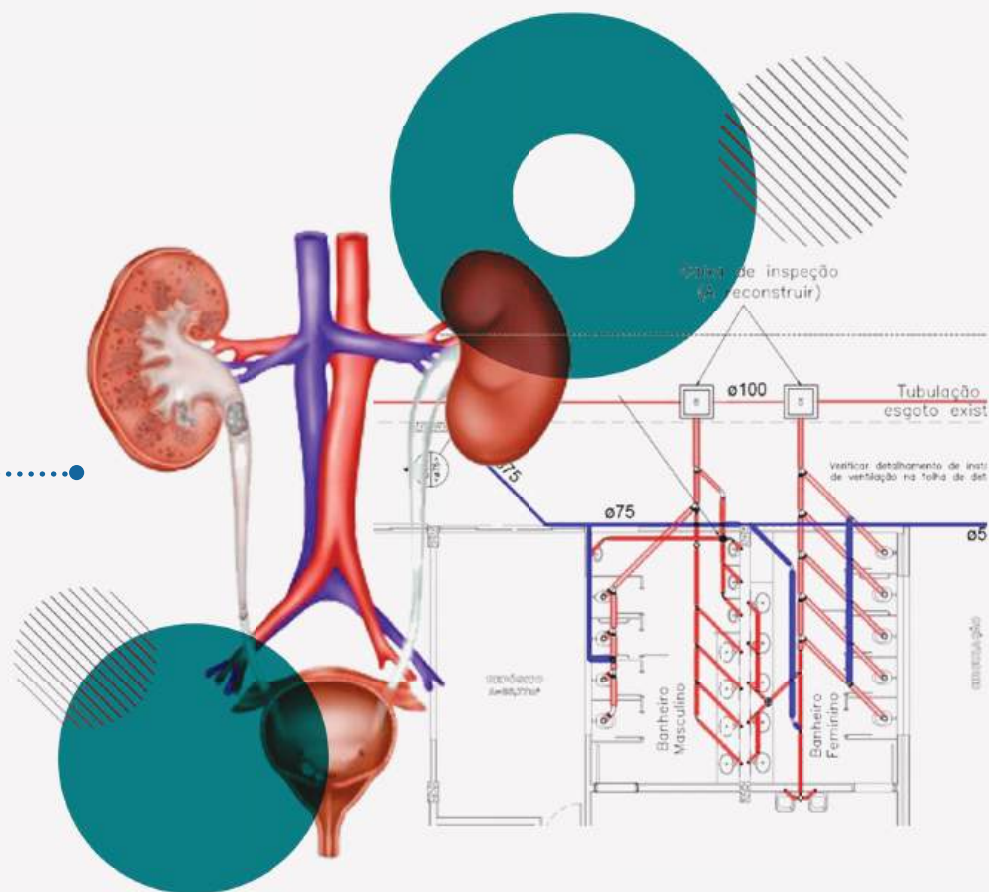
Neste eixo de comparação entre os Sistemas Circulatório e Hidráulico é possível fazer analogia ainda com outros sistemas e subsistemas na variância entre corpo humano-arquitetura. Conforme dito anteriormente, o Sistema Circulatório é responsável também pelo transporte de produtos residuais do metabolismo, já que as atividades orgânicas resultam na decomposição de proteínas, lipídeos e carboidratos, acompanhada de liberação de energia e formação de produtos que devem ser eliminados para o meio exterior. No corpo humano os sistemas responsáveis por essa eliminação são os Sistemas Urinário e Excretor, sendo a urina um dos veículos de excreção com que conta o organismo (Fattini & Dangelo, 2002, p. 138). Estes Sistemas são importantes devido ao tipo de liberação que é decisivamente fundamental na manutenção do balanço das substâncias exigidas para a constância do meio interno, pois é eliminada do corpo uma grande quantidade de produtos de metabolismo tais como a ureia, o ácido úrico e a creatinina. Além disso, há a eliminação ainda da água e eletrólitos conforme necessário, para que o balanço interno dessas substâncias se mantenha (Spence, 1991, p. 573).

Assim como nessa conectividade entre sistemas: circulatório, urinário e excretor no corpo humano, a ligação entre o Sistema Hidráulico e o Sistema de Esgoto Sanitário é uma associação de complementaridade: o Sistema Hidráulico faz o transporte e o Sistema de Esgoto faz a eliminação. Esta simplicidade entre todos os sistemas também pode ser análoga a uma comparação entre os órgãos que compõe os sistemas do corpo humano e dos equipamentos que compõe os sistemas da arquitetura.



Na composição anatômica do sistema urinário, estão situados os rins, que produzem a urina; os ureteres, que transportam a urina para a bexiga urinária, onde ela é armazenada temporariamente; e a uretra, que transporta a urina para o meio externo (SPENCE, 1991, p. 574). No Sistema de Esgoto Sanitário, todo esgoto produzido na edificação (sendo a produção dos rins) passa por ralos e vai por tubos até chegar numa caixa de concreto chamada caixa de inspeção (tubulações essas que podem ser comparadas com ureteres e a caixa de inspeção ser chamada de bexiga urinária) e da caixa de inspeção o esgoto passa por tubos diretamente para a rede pública de coleta (tubos estes que podem ser denominados de uretra) (Araujo, 2016, p. 4) (Imagem 14).

IMAGEM 14: COLAGEM COMPARATIVA DO SISTEMA URINÁRIO





Com todas essas relatividades interconectadas, falta dar ao corpo energia. Para que o organismo se mantenha vivo e funcionando, é necessário que ele receba, além da oxigenação, um suprimento constante de material nutritivo (Fattini & Dangelo, 2002, p. 121). Cada célula do corpo necessita de um suprimento constante de energia para realizar suas funções próprias. O alimento ingerido fornece os materiais básicos a partir dos quais essa energia é produzida e novas moléculas são sintetizadas. Assim surge em cena o Sistema Digestivo, que modifica o alimento ingerido por processos mecânicos e químicos de modo que, no final, possam atravessar a parede do trato gastrointestinal e entrar no Sistema Circulatório.

No subsistema vascular do Sistema de Circulação, por sua vez, é transportado estas moléculas de alimento através da veia porta para o fígado antes de distribuí-la para todas as células. Após entrar nas células, as moléculas do alimento digerido podem ser remontadas em proteínas, carboidratos e lipídeos, ou usadas na produção de energia para suportar as atividades do corpo (SPENCE, 1991, p. 538-538). No corpo arquitetural, nada mais fidedigno do que comparar o Sistema Digestório - que gera energia - com o Sistema Elétrico, que basicamente: gera energia. Em ambos dos corpos a energia é a principal fonte calor e força: nos sistemas elétricos cabe a este sistema a geração, à transmissão e à distribuição energética, assim sendo como no Sistema Digestório. Na arquitetura existem requisitos de desempenho que o Sistema de Eletricidade deve respeitar, como (a) a continuidade de obter energia sempre disponível, (b) a conformidade do fornecimento de energia deve obedecer a padrões bem estruturados e



(c) adaptação às mudanças contínuas de topologia, o que não se difere de requisitos para que um corpo humano funcione de maneira sistêmica e organizacional (Gebran, 2014, p. 1- 2).

Nas entrelinhas de todas estas tramas e correlações citadas acima, dos mais diferentes sistemas do corpo humano e do corpo arquitetural, há a necessidade dos estímulos de funcionalidade. A sobrevivência de organismos multicelulares depende de alguma forma, da regulação e coordenação das atividades de suas células. Se não houvesse coordenação, cada célula funcionaria de acordo com sua programação genética - indiferentemente às funções que outras células estariam realizando. Na melhor das hipóteses, uma organização a esmo poderia ser ineficiente, e na pior, ela provavelmente seria fatal. O organismo humano, composto por bilhões de células, possui dois sistemas que atuam principalmente como meio de comunicação interna entre células e atende as funções orgânicas - bem como a integração do animal na natureza -: o sistema nervoso e o sistema endócrino (Spence, 1991, p. 355).

A significância destes sistemas é dirigida ao controle e a ordenação das funções de todos os sistemas do organismo e, ainda, recebendo estímulos aplicados à superfície do corpo animal, é capaz de interpretá-los e desencadear, eventualmente, respostas adequadas a estes estímulos. Assim, muitas funções destes dois sistemas dependem da vontade e muitas outras ocorrem sem que delas tenhamos consciência (Fattini & Dangelo, 2002, p. 52). Novamente, como até aqui visto, a arquitetura possui relação análoga a estes sistemas.



Neste caso não se referencia a um sistema específico, mas sim em como a arquitetura em sua totalidade pode ser encarada como redes intimamente associadas que operam juntas para assegurar uma função adequada ao organismo. Nenhuma edificação é inteiramente dedicada a uma única função (Roth, 2017, p. 14), não existe inexecutabilidade de elementos separados, mas assim como um movimento involuntário, a arquitetura age com perfeito sinergismo e de modo integrado desde o início, para atingir um processo dinâmico com resultados capazes de atingir das funções mais básicas até a complexidade que pode ser proposta (Duarte & Salgado, 2002, p. 67).

Assim nós temos um corpo em pleno funcionamento, ou no caso, dois corpos em suas plenitudes funcionais. Porém fica faltando ainda o Sistema Reprodutivo. Seria a arquitetura capaz de se reproduzir? Não de modo convencional com o corpo humano - já é uma abstração mais longínqua do real - porém a arquitetura se reproduz na inspiração, na tendência, no ato de ver e repetir: assim se findaram várias épocas e fases arquiteturais. Pode-se dizer que a arquitetura possui também seu DNA, chave para perpetuação das espécies no meio natural (Nucci, 2012, p. 11).

No corpo humano, de maneira breve, o sistema reprodutor é a capacidade dos seres vivos de gerarem outros seres vivos, com características de semelhança, ocorrendo assim à perpetuação da espécie (Fattini & Dangelo, 2002, p. 143).



Na arquitetura, a “perpetuação da espécie” também se baseia na semelhança, ora na reprodução imagética de algo (KAAP, 2003, p. 8), ora na capacidade de acúmulo de tradução, explicação e compreensão na reformulação de ideias no decorrer do tempo e ora como produto de expressão estética da preservação da memória (Neto, 2008, p. 4). Como são recorrentes as reconstruções, renovações e cópias de arquitetura na história das sociedades urbanas, estas práticas tiveram com o tempo inúmeras motivações, como a busca da relação com a perfeição artística ou até mesmo para conservar simbolicamente um monumento (Althoff, 2014, p. 1).

Na lógica acumulativa do conhecimento, a arquitetura sempre carregou consigo como modo reprodutor a concentração de qualidades plástico-visuais, como harmonia, unidade, variedade, ou no âmbito semântico e simbólico, incluindo as polêmicas sobre o ornamento, ou, ainda, na reedição de tipos e tipologias legados sua história (KAAP, 2003, p. 2). Um exemplo prático desse gênero foi que a partir do Renascimento, a procura pela forma ideal, espelhada na forma greco-romana, que levou os arquitetos a adotarem uma postura de imitação, recriando a partir da relação com o perfeito, reelaborando o pré-existente (Althoff, 2014, p. 4). Isso tudo é possível a partir do pressuposto apoio interdisciplinar e da percepção multissensorial que os arquitetos possuem como carga referencial (Neto, 2008, p.15).

Além deste acumulativo de referências e conhecimentos, atualmente continua-se a reconstruir, renovar e criar imitações, porém, além do campo da adaptação ou releitura,

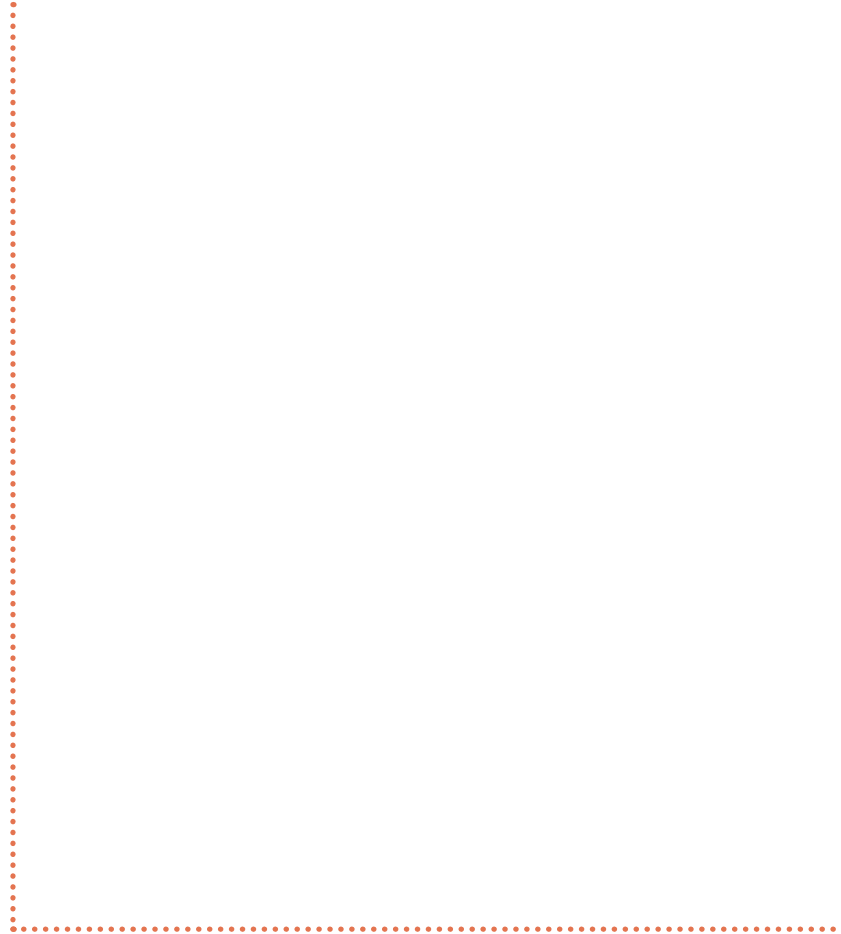


existe ainda a arquitetura de produto da preservação da memória também como ramo reprodutor. Este tipo de arquitetura possui na atualidade uma vertente explicada por alguns motivos: em nome da recuperação da identidade social e cultural ameaçada por violentas perdas, no caso de guerras ou catástrofes; seja como criação de cenários urbanos para o desenvolvimento da indústria turística, ou simplesmente como desejo de reviver no presente uma experiência estética do passado (Althoff, 2014, p. 1). Por todos estes motivos é capaz de delinear a semelhança entre as “reproduções das espécies”, seja humana ou arquitetural.

Como um todo e como prometido inicialmente no texto: eis a arquitetura como um organismo vivo. Em todo este processo comparativo, é importante lembrar de um termo que a biologia adota que é a homeostase, que serviu como base para direcionar as ligações entre os sistemas que funcionam de maneira sistêmica. A homeostase é o estado constate do meio interno do corpo, o funcionamento pleno de todos esses sistemas (Spence, 1991, p. 574). É cabível dizer aqui, que como todo corpo que sofre com as ações do tempo, a arquitetura também é passível de doenças e patologias, gerando assim corpos doentes ou anômalos dada desregularão da homeostase (Gunn & De Barros, 2001, p. 38). Para a manutenção da homeostase volta-se a questão do homem como célula, nessa lógica, a entidade célula deve assumir são função como Sistema Imunológico. Este Sistema reconhece especificamente determinadas estruturas moleculares ou antígenos e desenvolvem uma resposta efetiva e eficaz de defesa, essencial contra o desenvolvimento e transformações malignas ao corpo (Martínez & Alvarez-Mon, 1999, p. 1).



Assim deve ser o “homem-célula” na arquitetura, para preservar a sua homeostase, um agente reparador e de defesa.





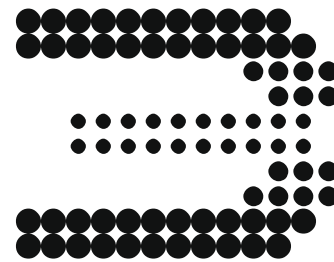
Tanto na arquitetura quanto no urbanismo, comparar tais áreas com organismos vivos pode gerar diversos contra-argumentos e críticas (Gunn & De Barros, 2001, p. 56), por exemplo, uma possível crítica na relação dada por este texto seria que a arquitetura possui muitos outros sistemas específicos da área. Porém o próprio corpo humano também pode apresentar outros sistemas que a arquitetura não traz, mas o intuito deste devaneio é mostrar que estas relações estão no âmago do pensamento e na forma analítica do olhar. Aqui, entender que a arquitetura, se considerada como um organismo vivo, um corpo que também compõe a natureza em si, é entender que existe uma relação muito mais ampla entre a coexistência entre homem-arquitetura-natureza que pode gerar novos padrões e vínculos na forma de projetar. Por isso a importância deste capítulo como precursor do próximo assunto, a biomimética: “Olhe profundamente a natureza e então entenderá tudo melhor” (Albert Einstein).







TRÍPLICE OPERACIONAL: **BIOMIMÉTICA, PARAMETRIA E IMPRESSÃO 3D**





Durante o percorrer do primeiro capítulo deste trabalho, a temática do desenvolvimento aliado à preservação ambiental, tentou alertar um grande desafio enfrentado no século XXI, advindos de uma arquitetura que foi desvinculando suas ligações entre forma, materialidade e função. As relações entre formalidade, materialidade e funcionalismo podem ser melhores compreendidas quando se evidenciam as concepções e fundamentos filosóficos que centralizam as expressões “**antropocentrismo e ecocentrismo**” (Augustin & Almeida, 2006, p.2), fundamentais para a abordagem deste novo capítulo que se inicia.

“[...] O antropocentrismo serve para submeter o meio ambiente natural à lógica de produção e consumo do atual sistema econômico, o ecocentrismo alimenta-se da crítica aos padrões de modernidade, principalmente da concepção de domínio da natureza.”

(Ibidem, p.2)

A conformação de que o homem não deveria se ver como agente dominador, mas sim como componente de uma mesma natureza e de um mesmo ambiente dá margem para uma mudança de paradigma quanto à visão do homem com seu entorno. Yopanan (2007, p. 199) já dizia que: “*Uma das formas mais eficientes de aprendizado é através da observação do que existe. E, de todas as coisas que existem ao nosso redor, a natureza é, sem dúvida nenhuma, a mais agradável de observar*”. Nas últimas décadas,



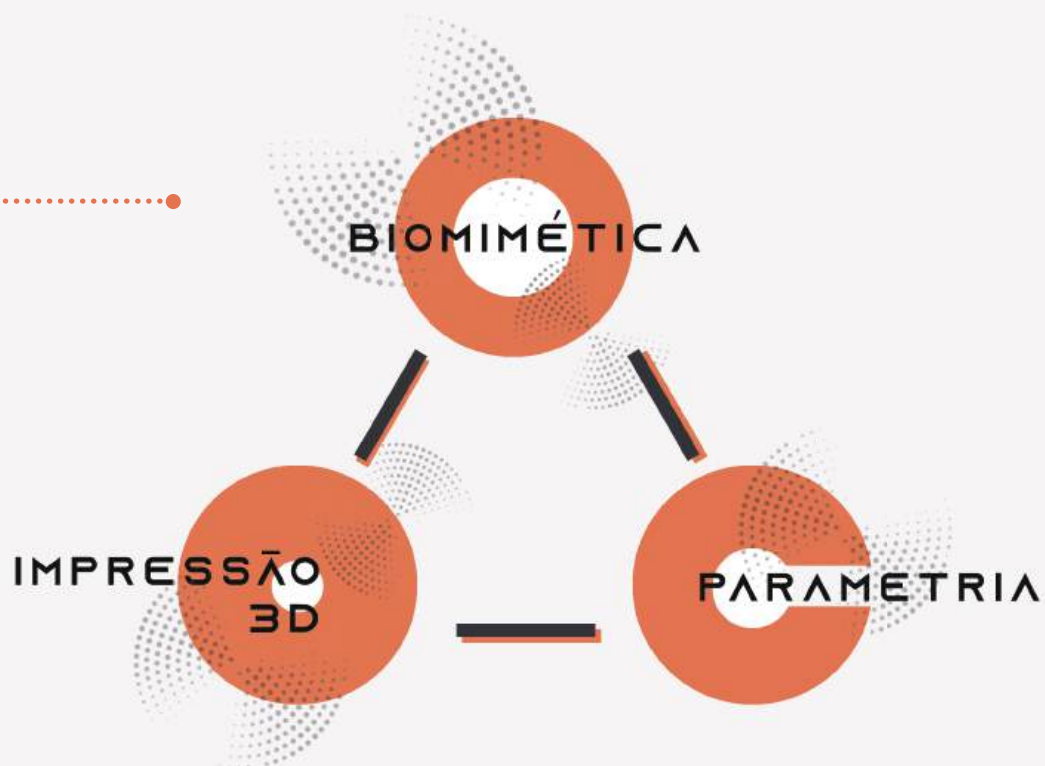
este paradigma vem se alterando e a visualização do nosso ambiente vem moldando profundamente a compreensão humana e tem produzido sensibilidades inteiramente novas. Exemplos básicos são desde fotos espaciais da Terra, reforçando a consciência do clima e uma sensação do frágil equilíbrio de fluxos do planeta, até a microfotografia, revelando detalhes mais requintados dos menores organismos possíveis (Hensel, Menges & Weinstock, 2006, p. 13).

Assim surge e se inicia a **tríplice operacional** (imagem 15), que começa a guiar o rumo de redobrar a multiplicidade de possíveis soluções, que interferem na adoção de medidas de proteção para toda a problemática delimitada no primeiro capítulo do trabalho. A tríplice operacional é composta de três ramos principais, que em suas essências, se subdividem em diversos outros ramos.

A primeira ramificação é dada pela biomimética: assunto que durante o sistema experimental proposto como tema deste trabalho será o guia progenitor de fundamentação e concepção. A segunda ramificação é a parametria, que tem como função básica – mas vai muito além disso, trabalhando sempre à margem da complexidade – ser uma instrumento criacional. Por fim, o último ramo: a impressão tridimensional, tendo como função básica a prototipagem.



IMAGEM 15: TRÍPLICE OPERACIONAL: BIOMIMÉTICA, PARAMETRIA E IMPRESSÃO 3D.





Para dar início às discussões, será primeiramente abordado o tema da biomimética, que já minimamente trabalhada no segundo capítulo deste trabalho, funciona como ponto chave de implementação. A terminologia “biomimética” tem origem do grego “Bíos” (vida) e “Mimesis” (imitação), e seu termo foi introduzido pela primeira vez em 1997, pela autora Janine Benyus (Arruda, 2015, p. 2). A biomimesis é resultante do método de investigação baseado na observação e replicação de morfologias, mecanismos, processos e comportamentos provenientes de campos de estudo como a biologia, a biofísica, a biomecânica, as neurociências, as matemáticas complexas e a cibernética. A metodologia pode também compreender as abordagens filosóficas, tendo como principais objetivos buscar soluções de uma arquitetura mais adequada ao ser humano, ao seu entorno e à sustentabilidade da relação de ambos (Couceiro, 2014, p. 36).

De acordo com Janine Benyus, autora do livro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*: “essa respeitosa imitação, [...] diferentemente da Revolução Industrial, traz a Revolução Biomimética, que inaugura uma era cujas bases assentam não naquilo que podemos extrair da natureza, mas no que podemos aprender com ela, tomar emprestada uma ideia para inspirar outras” (Benyus, 2011, p.34).

A biomimesis é um processo intelectual que, no decorrer histórico, vem de forma intencional ou intuitiva expressando diversas vertentes do design, da arquitetura e do urbanismo. O processo evolutivo do ser humano, e mais especificadamente do seu cérebro, foi feito em sintonia e por adaptação à complexidade do mundo que o rodeia.



É possível perceber que este processo de adaptação remete há um longo tempo atrás, em que a biomimética já estava presente no mundo arquitetural séculos e mais séculos passados: os elementos ornamentais da arquitetura egípcia, grega e romana são provavelmente os elementos biomórficos mais reconhecíveis dentro das referências arquitetônicas históricas. A biomimesis presente na arquitetura islâmica é menos perceptível apresentando-se sob a forma de regras matemáticas e algorítmicas, sobretudo em motivos ornamentais de caráter não figurativo, que em muitas situações, compreendem padrões fractais.

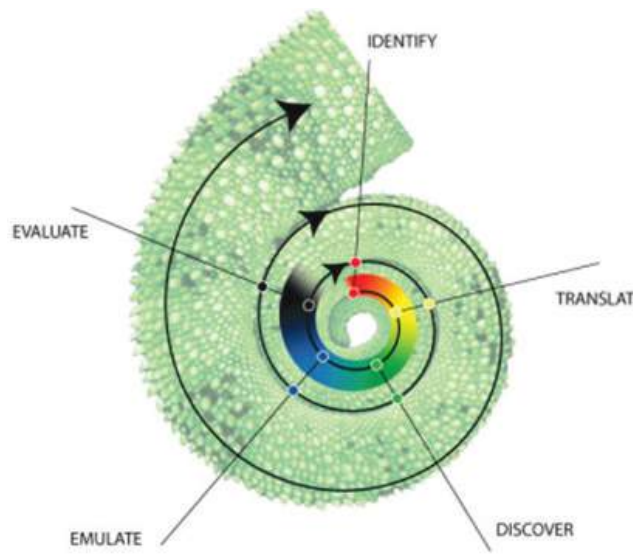
Também na arte e na estruturação urbana, presentes no período pré-colonial na África Subsaariana, podem ser encontrados composições que revelam estruturas fractais. Existiu uma corrente arquitetônica que surgiu no final do século XIX na Europa, mas que se dissipou como influência mundial, conhecida como “*Art Nouveau*”, totalmente inspirada por formas e estruturas naturais. Ainda assim, no Japão, surgiu o Movimento Metabolista, movimento este de caráter contemporâneo, fundado em 1959. Ele tinha uma ideia da cidade do futuro habitado por uma sociedade de massas, caracterizada pela grande escala, estruturas flexíveis e extensíveis com um crescimento similar ao orgânico. Por assim vai continuamente, referências biomiméticas no largo histórico humano e arquitetural, hora explícito, hora intrínseco, mas sempre presente (Couceiro, 2014, p. 36).

Deste percurso histórico surgiu uma metodologia de design desenvolvida por Janine Benyus e



Dayna Baumeister - pesquisadoras do *Biomimicry Institute*, localizado em Montana, Estados Unidos - um guia para se produzir biomimética, abordagem esta que vem norteando diversos profissionais na área como Neri Oxman e Roberto Naboni. O intuito do trabalho das pesquisadoras foi de prover um conjunto de técnicas para investigar, refletir e buscar no mundo natural uma aproximação que permita capturar qualidades ou propriedades inovadoras nos sistemas biológicos. O nome da metodologia é “Espiral do Design Biomimético” e pode ser vista na imagem 16 (Meira, 2008, p. 2).

IMAGEM 16: TRÍPLICE OPERACIONAL: BIOMIMÉTICA, PARAMETRIA E IMPRESSÃO 3D.



FONTE: MEIRA (2008).



Este método projetual se inicia a partir da (1) **identificação**, que parte do pressuposto de investigar a fundo o problema até obter a essência de tal paradigma e conseguir definir suas especificidades. Posteriormente, acontece a (2) **tradução**, que deve ser o modo de traduzir conceitos das funções exercidas pela natureza. Segue-se então para (3) a **exploração**, fase de busca por modelos da natureza que possam responder ou solucionar desafios relativos ao problema. Após a exploração, vem o âmago da biomimética, a “mimesis”, ou no português, a (4) **imitação**, partindo do desenvolvimento das ideias e soluções baseadas nos modelos biológicos. Para finalizar, é necessário uma (5) **avaliação**, a biomimética é um processo também de revisão das soluções comparando-as com os princípios de vida (Meira, 2008, p. 3-5).

A partir do processo de identificação, tradução e exploração, vindas da observação dos fenômenos biológicos, a biomimética no decorrer do tempo teve sua replicação através de metodologias pouco clarificadas, e isso acabou levando a exploração deste tema para variados campos de investigação, desde essências simples de inspiração em projetos até pesquisas de novos materiais construtivos. Este último campo citado, o dos materiais e seus respectivos processos de produção, manufatura e aplicação tem ganhado muito espaço nas últimas décadas (Couceiro, 2014, p. 36). **Mas o porquê disso?**

Ao contrário do mundo biológico, em que existem altos níveis de integração entre forma e distribuição material, o design e a arquitetura da era digital podem ser tipicamente divididos em processos de geração formal e processos de otimização baseada em desempenho:



somente após a forma ter sido gerada são implementadas as propriedades e distribuição dos materiais. Outra distinção entre a otimização do mundo biológico e a do design, é a habilidade da natureza produzir combinações morfológicas de estruturas isotrópicas: estruturas em que as propriedades físicas são constantes. Hoje, a produção do design e da arquitetura, quando o assunto é otimização dos processos de fabricação, dissociaram a organização formal da material, tornando suas propriedades anisotrópicas: estruturas em que as propriedades físicas NÃO são constantes (Oxman et al., 2013, p. 2).

Devido a estes imperativos do crescente reconhecimento dos fracassos ecológicos do design moderno na última década, um novo corpo de conhecimento está emergindo na praxis arquitetônica: a cultura do design está testemunhando uma **nova materialidade** inspirada tanto pela natureza quanto pela crescente presença de métodos avançados de fabricação. Exemplos de interesse no potencial tecnológico no uso inovador de materiais são apresentados pelo desenvolvimento de biomateriais, materiais mediados e responsivos, bem como materiais compósitos. Destes materiais denotam-se relações de um vínculo mais forte entre produtos, edifícios, sistemas e seu ambiente - cruzando com a multidisciplinaridade: assomando a bioquímica, a biomecânica e, obrigatoriamente, as ciências da computação, devido à complexidade dos processos (Couceiro, 2014, p. 36) - isso tudo é chamado de **“Ecologia do Material”** (Oxman, Ortiz, Gramazzio & Kohler, 2015, p. 2).



Com a crescente relevância da “materialidade”, novas fronteiras da ciência dos materiais e da fabricação estão apoiando o surgimento de uma arquitetura sob outra perspectiva. Estes materiais bioinspirados podem ser caracterizados como entidades que relevam a fundo a compatibilidade entre as propriedades do material, seu ambiente externo e seus critérios de desempenho. Como resultado, os materiais e sistemas com inspiração no mundo natural normalmente exibem altos níveis de integração entre forma, função e material, gerando projetos altamente eficientes e eficazes (Oxman et al., 2013, p. 1).

Atualmente, já com estudos mais avançados no ramo da materialidade cujo processo de produção e aplicação pretendem mimetizar algum processo biológico, a biomimética começou a romper barreiras mais longínquas do que se imaginava há dez anos.

Além do vasto campo de pesquisa das diferentes materialidades, outro tipo de investigação biomimética, muito promissora, relaciona a aplicação de algoritmos evolutivos ou genéticos com processos de modelagem tridimensional. Neste caso, criam-se analogias entre relação genótipo/fenótipo dos seres vivos e código informático/morfologia gerada num determinado ambiente informático. Este tipo de metodologia é chamado de **parametria** ou parametrização, sendo assim o próximo ramo da tríplice organizacional (Couceiro, 2014, p. 37).

O parametricismo é o conjunto de conceitos metodológicos referidos à modelagem ou controle de um modelo arquitetônico,



dado a partir da associação explícita de parâmetros de projeto utilizando *softwares* de desenho paramétrico. Dentro deste conjunto, a técnica de tradução das variáveis do projeto a parâmetros do modelo e associação destes parâmetros dentro de um sistema de relações é conhecida como “parametrização” (Bueno, 2014, p. 150). Nela, as alterações do código informático incidem normalmente sobre parâmetros variáveis programados, permitindo a alteração dos modelos tridimensionais gerados, assim como das suas propriedades físicas e/ou químicas. Essa flexibilidade de mudanças permite ainda a multiplicação dos objetivos tendo como intenção aperfeiçoar diversos aspectos compositivos do comportamento mecânico, energético ou mesmo do tipo e quantidades de materiais de um determinado edifício ou tecido urbano (Couceiro, 2014, p. 37).

Historicamente, existem registros do uso do conceito parametrização como conhecemos atualmente em projeto arquitetônico desde 1958, porém apenas em 1992 que foi idealizada a primeira obra projetada usando conceitos de parametria. Um projeto paramétrico pode ser a contraparte digital de uma ideia de design que não toma em conta a geometria como produto, mas toma também as relações entre seus componentes como processo de modelagem desta parametria. O produto é a solução para determinada combinação de valores atribuídos aos parâmetros; e diferentes valores dão lugar a diferentes versões ou até diferentes projetos dentro de uma linha de pensamento. A partir de 2007, nasceu uma categoria de *software* que combinam a modelagem paramétrica com a programação visual. Este tipo de *software*, ao terem uma natureza algorítmica,



permite ao usuário programar os seus próprios métodos e construir as suas próprias ferramentas de objeto, incluindo estratégias de fabricação digital (Bueno, 2014, p. 150).

A modelagem paramétrica veio para somar o processo de design que tem como característica a modificação e a revisão constante de cada elemento durante suas fases constitutivas, além de estender a gama de opções que antes era restrita a capacidade humana de imaginar e de combinar grandes quantidades de dados e informações (Florino, 2014, p. 141). A partir da modelagem por meios paramétricos, é possível então definir e interagir com a geometria de um elemento construtivo contido num modelo digital a partir de parâmetros, regras, funções, restrições e interdependências entre suas partes-componentes, e/ou entre elementos construtivos (Ibidem, p. 140).

Este tipo de modelagem digital, contém três algoritmos. O primeiro é a ordenação da sequência de parâmetros e da definição de suas propriedades. O segundo algoritmo é a propagação, que avalia cada parâmetro e suas restrições impostas em fórmulas, funções ou operações. O terceiro algoritmo permite mostrar os dados em três dimensões. Consequentemente a modelagem paramétrica de um projeto depende das restrições impostas em cada parâmetro, depende da repercussão das alterações de cada parâmetro sobre os demais, isto é, depende de seu encadeamento, assim como do relacionamento entre as partes e de suas conexões (Ibidem, p. 141).



Dado quase qualquer entidade 3D, este amplo conjunto de técnicas que existem em design computacional suportam processos de geração formal e otimização dentro de ambientes paramétricos. Quando há uma ligação entre a modelagem paramétrica e a biomimética, os processos computacionais biológicos gerados têm como característica uma definição de forma complexa (Oxman et al., 2013, p. 2). De acordo com Rocha e Venancio (2017, p. 5), os graus de complexidade de design necessários para o desenvolvimento deste sistema único, gerados a partir de modelos paramétricos de inspirações biomiméticas implicam necessariamente num investimento de tempo e conhecimento em tecnologias paramétricas e técnicas de fabricação digital.

Para completar a tríplice operacional, entra a impressão 3D como processo de prototipagem rápida e fabricação digital, completando e permitindo assim também a última fase da “Espiral de Design Biomimético”, a fase de avaliação. O entrelaçamento entre as áreas digital e do mundo material se completam com o uso de técnicas de fabricação digital, que permite ao designer controlar processos de fabricação por meio de dados de projeto, o que transforma as possibilidades.

As raízes da fabricação digital estão nas décadas de 1950, quando a invenção das máquinas de controle numérico gerou uma demanda de formas mais sofisticadas de manuseá-las do que simplesmente a entrada de dados manualmente. A primeira tentativa de transformar a forma em saída numérica para esse tipo de máquina era baseada em um rastreamento de desenhos para digitalizar a informação.



Foi óbvio então que de maneira rápida a matemática de descrever a geometria era necessária para qualquer progresso real à medida que iam surgindo novas geometrias com curvas e formas não euclidianas, colaborando para o uso mais eficiente das máquinas de controle numérico (Pupo, 2014, p. 98).

Assim, a fabricação digital refere-se às tecnologias CNC (máquinas de controle numérico) sugerindo a transferência de dados de um modelo digital para uma máquina visando à fabricação direta. Este tipo de fabricação permite resultados variáveis e não repetitivos, pois induz ao conceito de *mass-customization* (customização em massa), criando o desenvolvimento de sistemas construtivos não padronizados através de diferenciações seriais e variações digitalmente controladas (Ibidem, p. 98).

Contudo, entra-se no campo do *hardware*, sendo inserido a impressão tridimensional. Os processos de impressão 3D são processos de construção por camadas que podem ser utilizados para produção de protótipos, modelos e até produção direta de objetos e arquiteturas. Os processos deste tipo de impressão também são conhecidos por processos de prototipagem rápida, pois são comumente utilizados para materializar ideias e conceitos ainda em desenvolvimento, de forma precisa e rápida (Santos, 2014, 124). A prototipagem rápida quando comparada a outras tecnologias de geração de protótipos arquitetônicos (digitais ou analógicos), apresenta vantagens a partir de critérios como custo, tempo de execução, qualidade do modelo e adequabilidade - porque permite maior precisão -, repetitividade,



maior nível de detalhe e redução significativa de tempo para produção de modelos, quando comparados aos métodos analógicos de produção de protótipos (Andrade, 2014, 164).

A prototipagem rápida e a impressão 3D, aliadas a fabricação digital, permitem a construção desde formas mais simples ou extremamente complexas, sendo totalmente conjuntivas aos padrões biomiméticos. Através da construção e junção de camadas muito finas de material líquido ou em pó, ao imprimir, o modelo matemático 3D virtual é fatiado em seções que geram mapas de superfície que são materializados um sobre o outro ao serem impressos, e unidos, formam um corpo sólido (Santos, 2014, 124).

A grande questão entre os métodos de impressão 3D e a biomimesis está ligada (além da questão formal reprodutiva), na gama de possibilidades de estudos de materialidade. Diversos materiais podem ser utilizados para construção de modelos, como polímeros, metais, cerâmicos ou até papel. Porém hoje, as tecnologias de fabricação operam uma maior variedade de materiais que já adotam termos de inteligência e composições de compósitos naturais (Oxman, 2013, p. 1).

Isso está correlacionado aos diferentes processos de produção que as máquinas têm alcançado como processos de sinterizações seletivas a laser, sinterização direta de metais, a estereolitografia ou ainda nas tecnologias de modelagem por deposição de filamentos, que por sua vez, um filamento é aquecido e extrudado por um bico modelador que deposita o material formando as camadas em sequência até a formação completa do sólido (Santos, 2014, 124).



As tolerâncias e espessuras de material atingidas com esses processos são muito precisas, por isso vem sendo utilizadas amplamente na produção de protótipos. Como a processualidade destes dispositivos toca diretamente aspectos de natureza física, da ordem da resistência dos materiais, das limitações do equipamento de *hardware*, do tempo de produção, entre outras questões do domínio operacional, isso permite que haja uma interação metodológica entre a teoria, a conceituação e principalmente, a análise, fundamental ao ciclo biomimético.

Com esses métodos o domínio operativo é motor para a produção de conhecimento é maior, advindo da reflexão em ação. Esta talvez seja uma das maiores contribuições da prototipagem rápida da impressão 3D: oferecer sobre os processos tradicionais de produção em série a produção customizada, capaz de gerar rapidamente objetos diferenciados, múltiplas versões de uma mesma ideia, potencializando enormemente a condição exploratória e experimental de um processo de projeto (Rocha & Venancio, 2017, p. 1756).

A união a fundo da biomimética, da parametrização e da impressão tridimensional, sintetizados na busca de um futuro promissor de preservação e realinhamento das definições formais e funcionais ligadas a materialidade, tem gerado estratégias e buscas contínuas e incansáveis, fazendo que o caminho do design e da arquitetura esteja sendo, não mais tão lentamente, traçado. A complexidade do mundo natural que vem sendo trazida para a arquitetura, ao se deparar com a “Tríplice Operacional”, vem criando estudos mais a fundo das relações e composições da natureza.

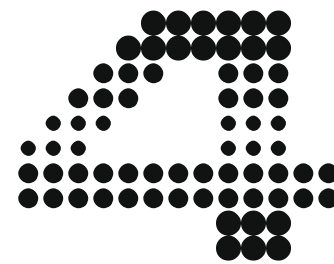


Ultimamente, parece lógico e necessário incluir nas novas pesquisas também a escala molecular, que promete gerar uma funcionalidade de uma extensão ainda não realizada, para tornar possível a performatividade e a sustentabilidade no seu grau mais intrínseco. Tal abordagem que envolve a bioquímica, a disciplina preocupada com o estudo de moléculas e sua química em reações que facilitam os processos que tornam os sistemas vivos possíveis, já vem sendo abordado e que compõe o objeto de estudo do próximo capítulo, que é chamado de “Sólidos Celulares” (Hensel, Menges & Weinstock, 2006, p. 19).





UM NOVO ANTIGO CAMINHO DE POSSIBILIDADES:
OS SÓLIDOS CELULARES





Quando o homem moderno constrói grandes estruturas de suporte de carga, ele usa sólidos densos: o aço, o concreto, o vidro. Quando a natureza faz o mesmo, ela geralmente usa materiais celulares: madeira, ossos ou corais, por exemplo. Estudos já foram realizados na busca pelas razões através das quais isso ocorre, e esta relação natureza-pesquisa apresenta rumos promissores (Ashby, 2000, apud Naboni, 2017, p.2). Após milhares de anos de experimentação, a natureza conseguiu consolidar mecanismos de alto desempenho com consumo mínimo de recursos. Hoje, convertendo a biologia no campo de estudo biomimético, a natureza se tornou uma grande fonte de modelos de imitação, cópia, aprendizagem e também de inspiração entre estruturas naturais e estruturas artificiais (Benyus, 1998, apud Cherréz, 2017, p. 12).

Das áreas biológicas, é impossível dissociar a vida humana das características celulares: as células são formas fundamentais de vida, as unidades básicas de construção de organismos naturais, estruturas que foram exploradas diffusamente desde sua descoberta por Robert Hooke, descrita em seu trabalho de referência até hoje em “Micrografia”.

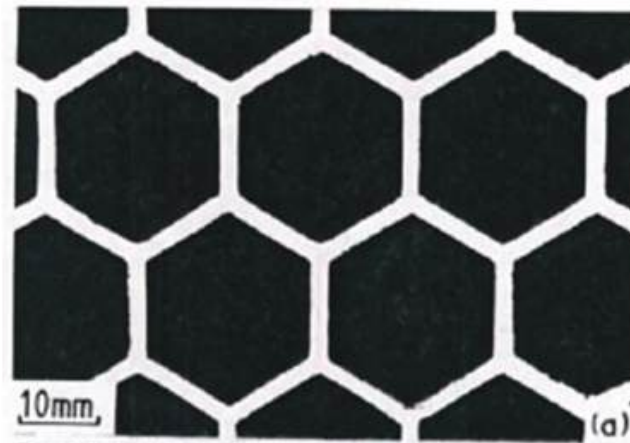
O mundo celular ganhou espaço no design a partir do momento em que se debruçou sobre os chamados “sólidos celulares”. Cada vez mais a fundo, estas estruturas vêm atraindo atenções devido a seus altos potenciais de aplicações e sua relevante relação de performance-peso. Às vezes referidas como “metamateriais”, as estruturas celulares alcançam propriedades físicas e mecânicas adaptadas através do controle de geometrias interiores (Jose, 2015, p. 1).



Com um enquadramento no campo do design biomimético, o mundo celular - célula, do Latim *cella*: que significa um pequeno compartimento, um espaço fechado (Gibson & Ashby, 1988, p. 1) - tem aproveitado das diversas vantagens de sua composição para abrir novos horizontes de pesquisa e implantação na arquitetura. Os sólidos celulares são uma rede interconectada de suportes sólidos que formam as arestas e faces das células (Ajdari, 2008, p. 2) e quando usadas nas construções, este conjunto de células com faces ou bordas sólidas, são projetadas para preencher um espaço (Gibson & Ashby, 1988, p. 1).

Basicamente, as tipologias dos sólidos celulares podem ser classificadas em três. A primeira estrutura tipológica de acordo com Gibson & Ashby (1988) é chamada de (1) **favo de mel**, ou originalmente: *honeycomb* (imagem 17). Ela possui uma matriz bidimensional de polígonos que se acumulam para preencher uma área plana com as células hexagonais, como favos de mel das abelhas, daí seu nome.

IMAGEM 17: PRIMEIRA TIPOLOGIA: HONEYCOMBS OU FAVO DE MEL BIDI-MENSIONAL.

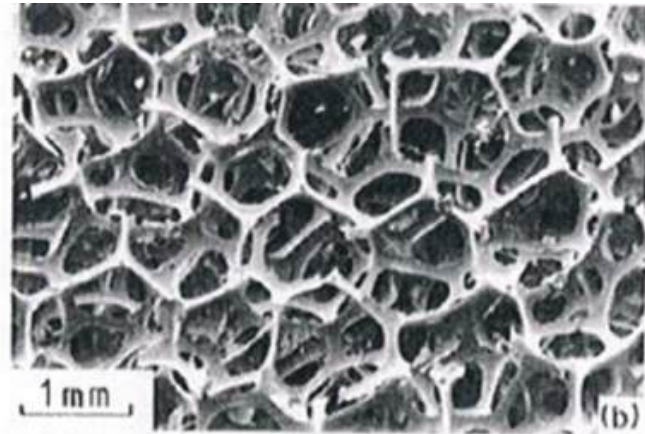


Fonte: GIBSON & ASHBY, 1988.

Normalmente as células são poliédricas e se acumulam em três dimensões para preencher espaço, sendo este material celular tridimensional nomeado de esponja, ou originalmente: *foams*. Se o sólido do qual esta esponja é feita está contido apenas nas bordas da célula (de modo que as células se conectam através de faces abertas), dá-se a segunda tipologia chamada de (2) **esponja de células abertas** (Imagem 18), vinda da tradução *open-celled foams*.



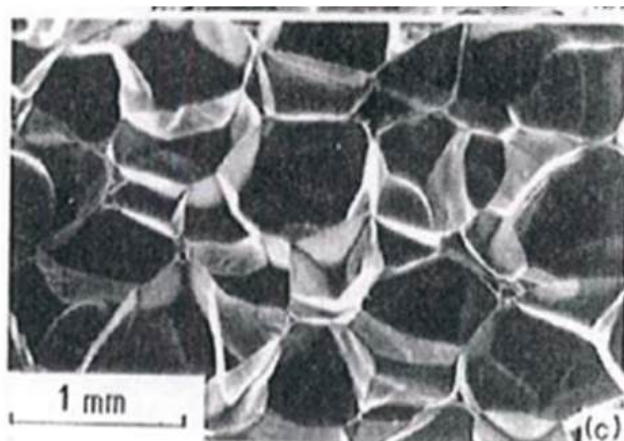
IMAGEM 18: SEGUNDA TIPOLOGIA: OPEN-CELLED FOAMS OU ESPONJA COM CÉLULAS ABERTAS TRIDIMENSIONAIS.



Fonte: GIBSON & ASHBY, 1988.

Se dessas faces sólidas as células estão seladas em seus vizinhos, dá-se o caso da terceira tipologia, chamada de (3) esponja de células fechadas (Imagem 19) (Ibidem, p. 2).

IMAGEM 19: TERCEIRA TIPOLOGIA: CLOSED-CELLED FOAMS OU ESPONJA DE CÉLULAS FECHADAS TRIDIMENSIONAIS.



Fonte: GIBSON & ASHBY, 1988.

Devido à mecânica inerente de suas propriedades e devido às diferentes formas através das quais os sólidos celulares podem assumir - como explicito acima -, estes materiais celulares podem apresentar como vantagens: uma **alta relação resistência-peso, rigidez estrutural, absorção de energia e outras propriedades térmicas, acústicas e propriedades elétricas**, tornando-se assim altamente significativo e atraente para muitos designers e estudiosos (Naboni, 2017, p. 2).



As propriedades de um sólido celular dependem em muito das propriedades do material de base, tais como: **densidade** (ρ_s), **módulo elástico** (E_s), e **limite elástico** (σ_{ys}) (Cherréz, 2018, p. 13). Dentre algumas destas citadas, a característica mais importante de um sólido celular é a sua **densidade relativa**, ρ^*/ρ_s ; onde, a densidade do material celular, ρ^* , é dividida pelo sólido a partir do qual as paredes são feitas, ρ_s . Materiais celulares especiais de densidade ultrabaixa podem ser feitos com densidade relativa tão baixa quanto 0.001 kg/m^3 , se tornando uma estrutura mais leve e com mais poros. A medida em que a densidade relativa aumenta, as paredes das células engrossam e os espaços dos poros encolhem, podendo deixar de terem uma utilidade tão vantajosa quanto outros materiais mais usuais (Gibson & Ashby, 1988, p. 2).

Isso é importante perceber porque as propriedades de (a) **geometria do sólido**, a (b) **anisotropia na forma da célula**, (c) a **definição das esponjas serem de célula abertas ou fechadas** - nas de célula aberta, as arestas das células apresentam espaços vazios contínuos, enquanto as de célula fechada, as faces de células estão mais interconectadas e conseqüentemente mais fechadas - e (d) os **tamanhos das células**, são fundamentais justamente na definição de maiores ou menores vantagens do seu uso. (Cherréz, 2018, p. 13).

Quando bem trabalhadas e projetadas, dada suas propriedades e geometrias especificadas, surgem benefícios de aplicabilidade que estudiosos como Gibson & Ashby (1988, p. 8) dividem em cinco grandes eixos temáticos:



- 1 . ISOLAMENTO TÉRMICO
- 2 . ACONDICIONAMENTO
- 3 . USO ESTRUTURAL
- 4 . FLUTUABILIDADE
- 5 . OUTRAS APLICAÇÕES

Estes atributos são os responsáveis pela constituição da maioria dos sólidos celulares produzidos atualmente.

No primeiro caso, o de **isolamento térmico**, totalmente interligado à materialidade, os sólidos celulares de acordo com a sua densidade relativa e a porosidade, exploram a baixa condutividade térmica das “esponjas”. A vantagem particular das esponjas para pesquisa em temperaturas é a sua baixa massa térmica, aumentando seu potencial isolante. O mesmo é verdade, em altas temperaturas. E como a massa térmica dos sólidos celulares é proporcional à sua densidade relativa, o design moderno vêm se aproveitando de sua baixa condutividade térmica (Gibson & Ashby, 1988, p. 8).

A segunda vantagem é em relação ao **“condicionamento”**. Um fechamento efetivo baseado nos sólidos celulares é capaz de absorver a energia dos impactos ou de forças com submissão mínima a estresses prejudiciais. Além disso, os materiais celulares podem ser submetidos a grandes deformações compreensivas a uma tensão quase constante,



de modo que grandes quantidades de energia podem ser absorvidas sem gerar altas tensões. Contudo, ainda apresenta, devido à sua baixa densidade, a significância de peso, pois os fechamentos se tornam mais leves (Ibidem, p. 9).

O ponto três, **uso estrutural**, é um dos que mais atraem os olhares dos designers e arquitetos. O uso estrutural de materiais celulares naturais pelo homem é tão antigo quanto à própria história. Muitos materiais estruturais naturais são sólidos celulares: a madeira, o osso esponjoso e o coral, e eles suportam grandes cargas estáticas e cíclicas, por longos períodos de tempo. Com a relação da tríplice operacional⁵ - sólidos celulares vêm sendo capaz de gerar estruturas com enorme rigidez e resistência à pressão (Ibidem, p. 10).

O quarto ponto, a **flutuabilidade**, é um campo que já vem sendo trabalhado há um bom tempo pelo lado de áreas marinhas e que ainda há uma amplitude de pesquisas a serem exploradas por outras áreas. Hoje, a tipologia das esponjas de célula fechada é largamente utilizada como suportes para estruturas flutuantes, como flutuação em barcos. Estes sólidos celulares são muito mais tolerantes a danos do que os sacos ou câmaras de flutuação; por causa de suas células fechadas eles mantêm sua flutuabilidade mesmo quando extensamente danificados; e não são afetados pela imersão prolongada na água (Ibidem, p. 10).

.....
⁵ Ver capítulo III.



Por fim, o quinto ponto: **outros usos** gerais. São diversos os outros usos que os sólidos celulares podem apresentar, como: a vantagem especial de serem membranas impermeáveis repelentes de água, mas que ainda permitem a livre passagem de ar (Ibidem, p. 10). Um quesito que tem atraído muitos olhares é o fator dos sólidos celulares possuírem propriedades elétricas, que tanto podem ser condutores como serem isolantes. De acordo com as esponjas se apresentarem sendo de células abertas ou fechadas, mais densas ou menos densas e possuírem mais poros ou não, pode conferir um fator de ganho ou perda de energia por unidade de volume através do meio material pelo qual elas viajam. Para além destes pontos, os sólidos celulares ainda podem apresentar, de acordo com suas propriedades, uma alta capacidade de amortecimento que absorvem bem as ondas sonoras. Estes “usos gerais” não tem parado só nestes três exemplos, mas como este campo de pesquisa tem sido muito explorado ultimamente, cada vez mais outras qualidades tem sido encontradas na utilização destes sólidos (Ibidem, p. 11).

Naboni (2017, p. 2) ainda aponta uma sexta vantagem, que é a possibilidade dos sólidos celulares serem aplicados a uma ampla gama de materiais, o que envolve a questão da Ecologia de Materiais (Oxman, ORTIZ, Gramazio & Kohler, 2015, p. 2). Certamente, como já dito antes, as propriedades mecânicas dos sólidos celulares são governadas pelas do sólido material de que são feitos, mas o mais influente é sua **topologia** e **densidade relativa**. Nisso, é importante pensar no tipo de tecnologia que abrange a materialidade e a metodologia de fabricação pré-concebida para o desenvolvimento dos sólidos celulares.



A reprodução das formas sintetizadas pela natureza não serve apenas para copiar e adaptar o design, mas também desempenha um papel importante na compreensão da eficiência estrutural, bem como compreender melhor o seu comportamento e como poderiam ser melhoradas. Neste sentido, os computadores, e mais ainda, a parametrização, há alguns anos vem conseguindo explorar o fenômeno natural de construção, assim como também resolver aplicações pouco comuns, como na inovação material. Trabalhar com materiais de alto desempenho ou biomateriais, requer várias experiências para validar as teorias. Com a computação e a impressão tridimensional, pode-se agora simular repetidamente novos comportamento (Cherréz, 2018, pg. 13).

É imprescindível pensar nos sólidos celulares enquanto forma e enquanto fabricação. A natureza também possui processos de construção eficientes em comparação com os seres humanos, que têm uma lógica diferente quando se trata de fabricações. Enquanto os humanos se baseiam na técnica de fabricação a partir da extração material, a natureza se baseia na adição (Benyus, 1998, apud Cherréz, 2017, p. 13). Pensando nisso, criar produtos com base na adição de material camada por camada é um processo de fabricação em crescimento. Esta construção de camada por camada é conhecida como fabricação aditiva (Additive Manufacturing) e teve avanços significativos na abertura de possibilidades de concepção e criação de produtos que até então, só eram possíveis na imaginação humana (Cherréz, 2018, p. 13).



A *Additive Manufacturing*, ou Manufatura Aditiva, ou ainda Fabricação em Camadas, tem sido cada vez mais utilizada para fabricar estruturas celulares devido à sua capacidade de ter formas livres com geometrias complexas. Tem sido sugerido que o desenvolvimento de ferramentas de design para estruturas celulares em 3D poderia ser facilitado por tecnologias de Manufatura Aditiva devido a teoria de design para estruturas celulares ser relativamente subdesenvolvida, especialmente para as estruturas celulares em arquiteturas 3D. A capacidade de fabricação da manufatura aditiva permite a verificação do design celular por experimentação, identificação e investigação de outras considerações de projeto não-geométricas, como fabricação e fatores de limite (Jose, 2015, p. 1).

O conceito de materiais celulares projetados é motivado pelo desejo de colocar materiais apenas onde é necessário para uma aplicação específica, como já dito anteriormente, ele é dado por uma densidade específica marcada por uma porosidade única. Seu método de funcionamento é gerado pela construção de estruturas em camada por camada, enquanto métodos convencionais são baseados na fabricação subtrativa isto é, a fabricação por remoção de materiais. Uma das principais vantagens sobre os métodos da manufatura aditiva é que o projetista não possui restrições ao projetar o domínio. Antes, o projetista precisava levar em conta a viabilidade do processo de fabricação ao projetar uma estrutura. No entanto, devido à manufatura aditiva, um designer pode projetar qualquer peça complexa, e pode fazer isso com “facilidade” (Ibidem, p. 1).

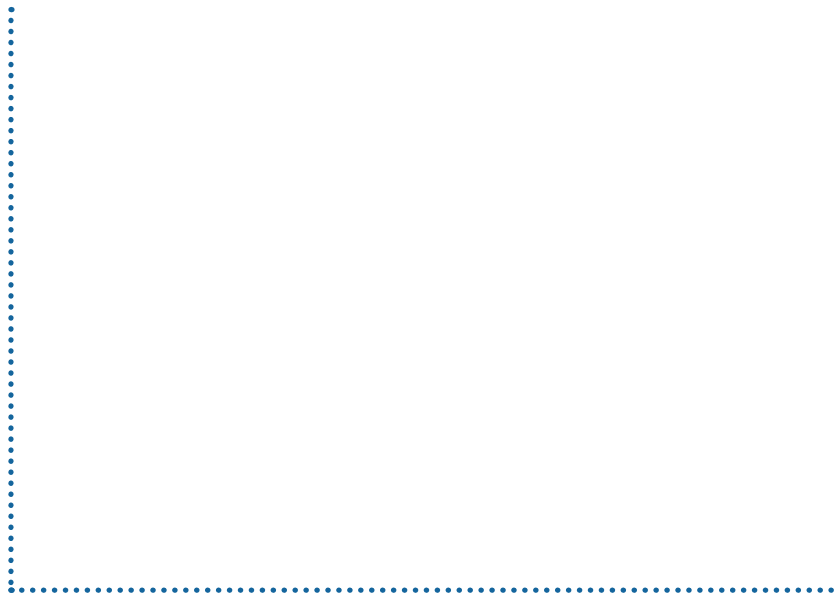


Na Manufatura aditiva, os materiais que possuem cadeias moleculares lineares ou ramificadas que não formam ligações uns com os outros, em que forças físicas fracas ou as chamadas forças de valência secundárias são quebrados quando o material é aquecido, permite a cadeia molecular para se mover, o que significa que o material torna-se macio e moldável. Devido às suas várias propriedades mecânicas, físicas e térmicas, bem como a capacidade de ser fabricado em qualquer forma e configuração desejadas, estes materiais abrem espaço, juntamente com a Manufatura Aditiva, para uma aplicação mais recorrente para a aplicação em arquitetura, design de produto e indústria transformadora em geral (Naboni, 2017, p. 5).

Posto este meio de fabricação, é passível agora entender como os sólidos celulares são uma união entre os capítulos apresentados anteriormente: eles se tornam um ponto chave de união entre a tríplice operacional e pressupõe uma possível solução para problemáticas ecológicas explicitadas anteriormente. Através dessa tipologia de solução, os sólidos celulares conseguem unir a tríplice operacional: a biomimética como eixo de inspiração, a parametrização como método de produção e a impressão 3D por Manufatura Aditiva como meio de fabricação digital, prototipagem rápida e análise funcional, além da união disso tudo com a questão perdida nas últimas décadas nos assuntos de perda da correlação entre forma, função e materialidade.



Os sólidos celulares precisam ser bem pensados enquanto forma, se não, não são realizáveis, porém estão detidos a funções bem pré-estabelecidas, se não podem causar efeitos reversos de uso e só são realizáveis e apresentam vantagens se suas propriedades são afirmadas pelos materiais de escolha de concepção. Além disso, com a metodologia da tríplice organizacional, as problemáticas de resíduos levantadas desde o primeiro capítulo, podem ser atenuadas a partir do momento em que se trabalha com materiais ecologicamente pensados, com meios de produção com gerações residuais menores e que podem ainda ser descartados ou reaproveitados de maneira apaziguadora com o meio ambiente.





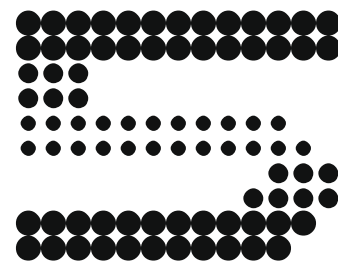
O próximo capítulo será dedicado à temática dos sólidos celulares novamente, mas desta vez, na prática. Baseado num sistema experimental destes tais sólidos celulares para serem aplicados em peles arquitetônicas enquanto sistemas de vedações, as propriedades e característica destes materiais celulares serão novamente trabalhadas e testadas. Que se inicie a aplicação de toda a teoria até aqui levantada!







**S H . A R C H - O S Ó L I D O C E L U L A R
E A P E L E A R Q U I T E T Ô N I C A**





Da natureza onipresente e encontrando aplicações em sistemas de arquitetura e engenharia, os sólidos celulares se mostraram até então, um dos possíveis e mais promissores caminhos que ganharam destaques para que esta pesquisa ocorresse. Para chegar a este capítulo, todo o trabalho desenvolvido tentou criar de variadas formas um ritmo de abordagem: tanto no processo de construção do pensamento próprio, como um processo de investigação e experimentação. Refletindo sobre isso, se dividirmos o trabalho em cadeias, por exemplo, é possível correlacioná-lo e aplicá-lo a metodologia de design dada pela “**espiral biomimética**” (Bennyus & Baumeister apud Meira, 2008, p. 2).

Nesta espiral, como já falado no capítulo III, o primeiro ponto na criação é a **identificação de uma dada problemática**. Nisso, o desenvolvimento do primeiro capítulo, dentre metáforas e dados, foi destinado a tentar compreender parte da realidade que vivemos e que conseqüentemente a arquitetura também experimenta.

A identificação, na espiral, é seguida da **tradução**: de entender a vivacidade da natureza e, basicamente, traduzi-la. O segundo capítulo foi intitulado de devaneio como uma forma de entrar mais a fundo nos sistemas naturais, usando o corpo humano como referência, e tentar compreender mais minimamente os sistemas arquiteturais como uma análise de algo pertencente à natureza. Basicamente, este capítulo acabou funcionando como uma ativação das ideias. Após isso, os capítulos três e quatro sucedem como uma forma de começar uma tradução do entendimento até então.

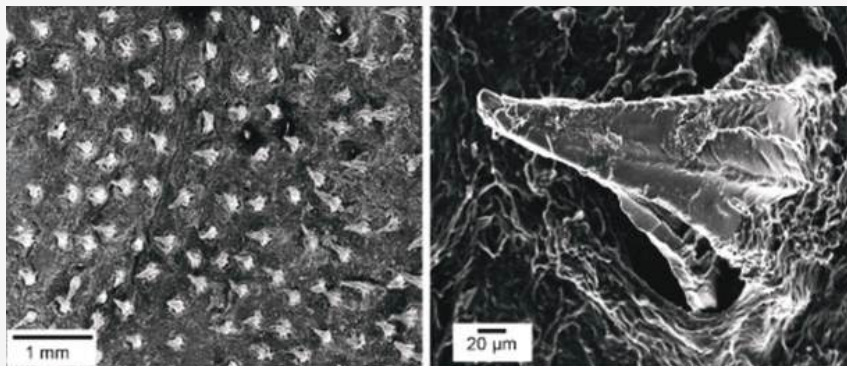


A próxima frase é a de **exploração**, e nessa fase, o próprio projeto fotográfico foi uma das maneiras de impulsionar a busca por outros seres naturais e novas formas de percepção da natureza, mas que a partir de agora, deste capítulo, será mais intensamente abordada e desenvolvida.

Dentre as buscas e pesquisas, nos últimos anos, existiu no campo científico, um avanço ao se tratar do estudo das peles dos tubarões, que vão desde tecidos até vedação de aviões. As peles destes animais já são peles que vem chamando a atenção no laboratório Conexão Vix - UFES já faz algum tempo.

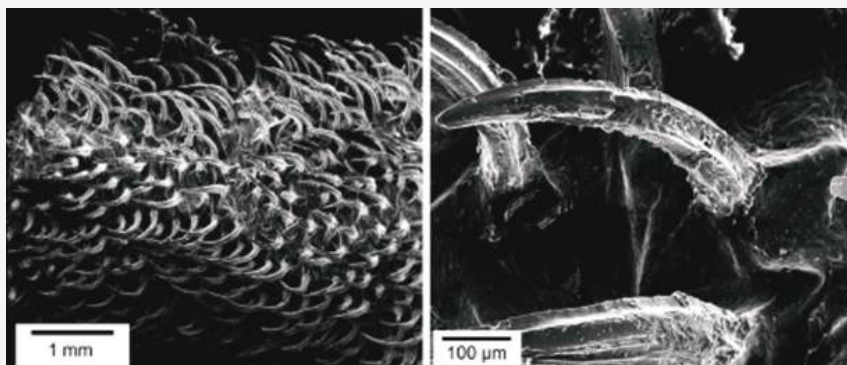
Embora os tubarões sejam comumente descritos como peixes cartilaginosos, eles são de fato cobertos por numerosos pequenos elementos dérmicos semelhantes a dentes, chamados de **dentículos placóides ou dentículos dérmicos**. Estes dentículos são compostos por uma camada esmaltoide externa e uma camada interna semelhante a um osso que circunda uma cavidade pulpar, e os dentículos são esculpados em formas tridimensionais complexas (Wen, Weaver, & Lauder, 2014, p. 2014). De acordo com cada espécie de tubarão, as microestruturas e a distribuição dos dentículos variam, e isso cria uma gama de opções que podem vir a ser inspiração para o desenvolvimento dos sólidos celulares (imagens 20, 21, 22 e 23).

IMAGEM 20: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE *ETMOPTERUS GRANULOSUS*.



Fonte: STRAUBE, 2011.

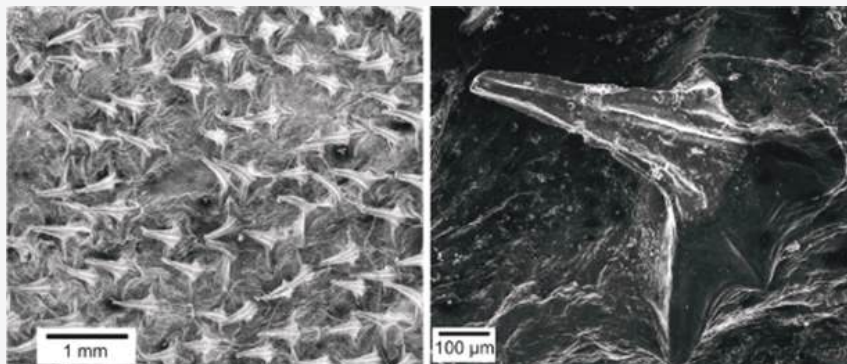
IMAGEM 21: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE *ETMOPTERUS SP. B.*



Fonte: STRAUBE, 2011.

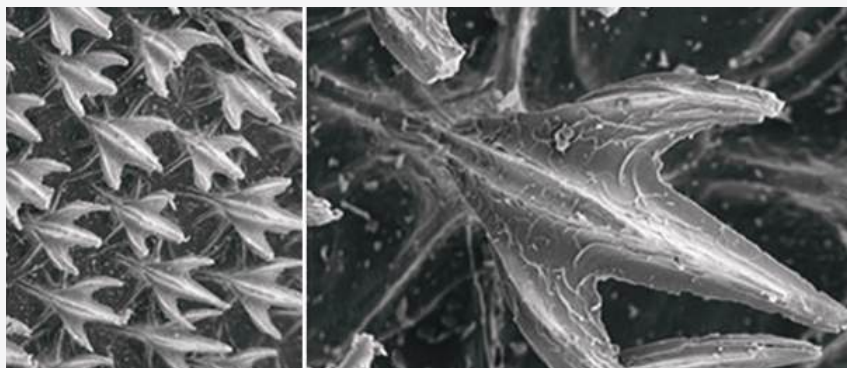


IMAGEM 22: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE *ETMOPTERUS VIATOR SP.*



Fonte: STRAUBE, 2011.

IMAGEM 23: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE *LAMNA NASUS.*



Fonte: <tiburoneschile.cl/>, 2018.



Vale ressaltar que por se tratar de sólidos celulares, nesta etapa de exploração, é importante validar que estruturas destes sólidos devem possuir características enquanto **vedação, densidade, permeabilidade/ventilação e sustentação**. Embora as propriedades funcionais da pele do tubarão tenham sido de considerável interesse devido aos complexos efeitos hidrodinâmicos da rugosidade superficial, neste trabalho, as possibilidades geométricas que as microestruturas dos dentículos apresentam, pressupõem atender bem características necessárias para o desenvolvimento dos sólidos celulares. Logo abaixo será possível compreender melhor essa relação de desenvolvimento do protótipo que relaciona os dentículos, sua geometria e as estruturas celulares.

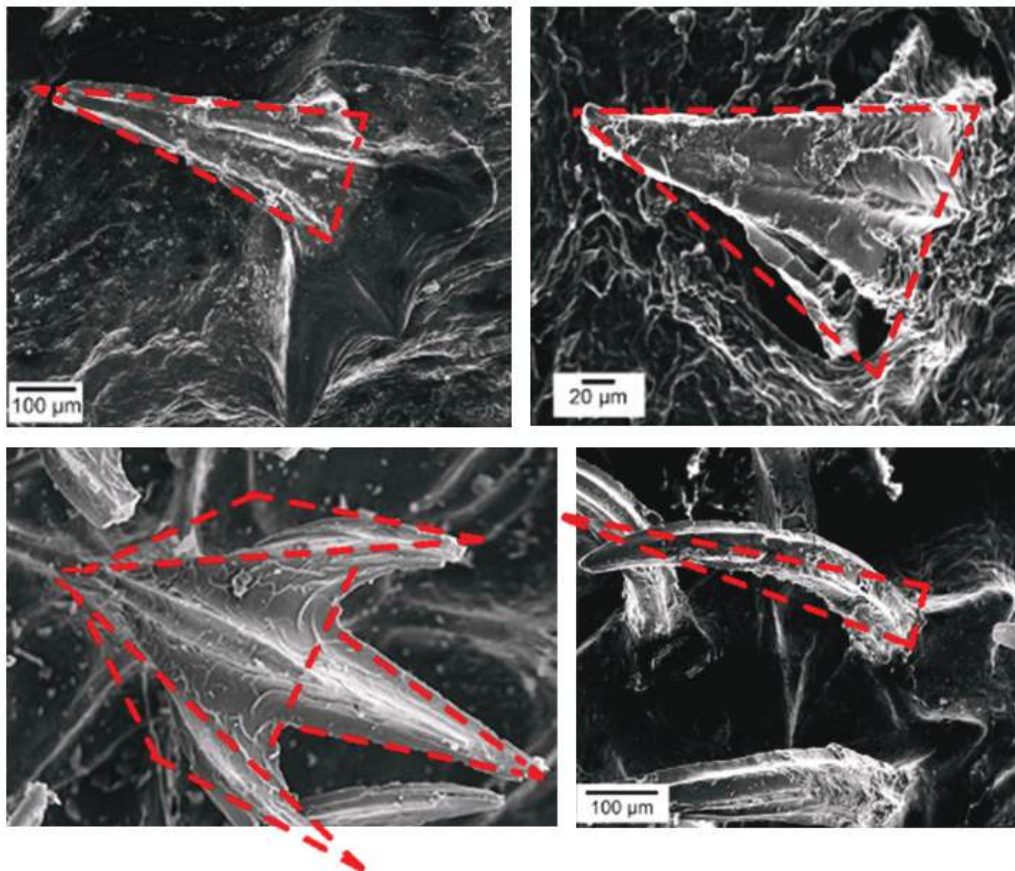
PROCESSO DE CRIAÇÃO

Seguindo a metodologia da espiral biomimética (Bennyus & Baumeister apud Meira, 2008, p. 2), após a fase de exploração, segue-se para a fase de **imitação** – a mimese em si. Em uma análise mais criteriosa para dar rumo ao processo de design, é notório que - dentre as buscas de alguns dos mais variados dentículos dérmicos - há uma geometrização comum em suas tipologias quando relacionadas à forma triangular (imagem 24). Essa similaridade começa a fazer sentido na arquitetura a partir do momento em que a triangulação consegue suprir muitas demandas em que um sólido celular também deve apresentar, como por exemplo, a sustentação.





IMAGEM 24: TRIANGULAÇÕES NOS DENTÍCULOS DÉRMICOS.



Fonte: Autoria própria.



Os tipos de arranjos de triangulação são extremamente importantes e presente no cotidiano da arquitetura. Não existe uma data ao certo para nortear quando se começou a usar os triângulos, devido a sua ampla utilização, mas foi na área da própria arquitetura seus primeiros registros. Seu uso em larga escala se dá devido a sua rigidez, já que não é possível alterar os ângulos internos de um triângulo mantendo as medidas dos seus lados fixas. Uma estrutura formada por triângulos não se desfaz facilmente (Neves, 2014, pgs. 8-9). Assim se cria um potencial performático como eixo de inspiração para o desenvolvimento do sólido celular.

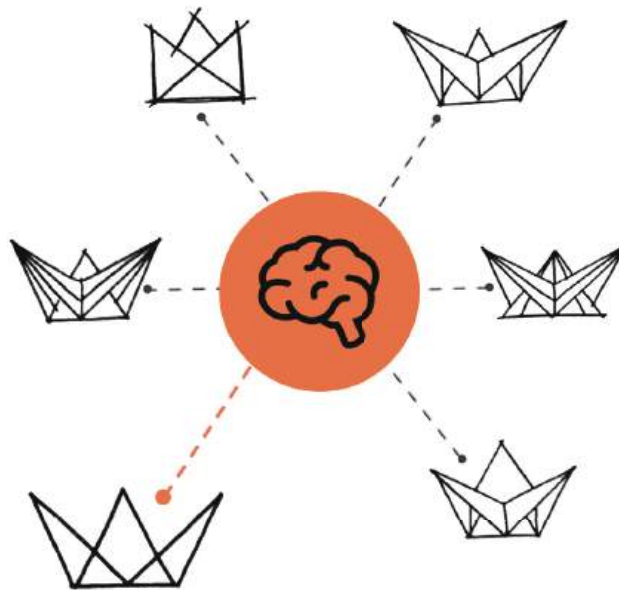
Já com um interesse maior na microestrutura do tubarão *Lamna nasus* (imagem 24), foi dado início a um processo de desenho de design. Pensando posteriormente, neste momento inicial foram estabelecidas algumas restrições de projeto que poderiam vir a influenciar futuramente, como por exemplo: (1) já trabalhar com estruturas que criassem **proporções** de três para três, por se tratar de triangulações; e (2) também não projetar arestas que tivessem menos de 45º graus de **inclinação**, devido às restrições de impressão 3D – para que as estruturas não precisassem de um suporte ao serem impressas, o que gastaria maior quantidade de materiais e por consequência, geraria resíduos.

Como um estímulo a criatividade, optou-se a utilizar o método de *brainstorm*, traduzida como “tempestade cerebral ou tempestade de ideias”. Criado nos Estados Unidos pelo publicitário Alex Osborn, este método é usado para testar e explorar a capacidade criativa, em que todas as ideias são “postas para fora” de maneira ininterrupta e



julgamentos prévios, e então, passar por uma análise e chegar a um denominador comum satisfatório (Buchele, 2014, p. 9). Isso serve de estímulo à criatividade e auxiliou a definir como se daria a geometria do sólido celular, que influenciaria posteriormente na programação computacional. Abaixo estão algumas das opções dos sólidos celulares rascunhados durante o processo de *brainstorm* (imagem 25).

IMAGEM 25: CROQUIS DE OPÇÕES DOS SÓLIDOS CELULARES INSPIRADOS NOS DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO *LAMNA NASUS* APÓS O MÉTODO DE BRAINSTORM.



Fonte: Autoria própria.



Estes desenhos são análises responsivas vindas das escamas. Eles apresentam uma releitura de sólidos celulares que se apropriam dos triângulos para além de faces, mas avança no sentido de ser uma superfície tridimensional. No próximo item será possível entender melhor como isso será desenvolvido, aplicando sob a pesquisa um modo de tornar a teoria em prática, podendo alcançar níveis analíticos maiores e melhor fundados.

PROCESSOS DE EXPERIMENTAÇÃO, PROGRAMAÇÃO E FABRICAÇÃO.

Como explícito em capítulos anteriores, a temática da “tríplice operacional” foi tomada como um guia, para gerar resultados em um processo de correlações teóricas para as aplicações práticas – trabalhar e operar. Na “tríplice”, fica descrito que a biomimética vem como o guia inicial de design, seguido da parametrização e assim a impressão tridimensional. Após um alinhamento de ideias, definições biomiméticas, desdobramentos geométricos e delimitação de possibilidades, a próxima fase, seguida então da mimese, foi a parametrização.

O alcance de resultados satisfatórios nesta pesquisa vem de uma metodologia que privilegia o envolvimento direto entre a experimentação prática e a produção de conhecimento em ciclos contínuos recursivos. De acordo com Rocha e Venancio (2017, p. 1756), o processo projetual paramétrico cria condições para a realização de inúmeros ciclos de reflexão e ação,



através dos quais são testados e analisados os possíveis arranjos entre formas, materiais, performance e estética - importantes ao se projetar os sólidos celulares.

A estruturação e programação dos elementos foram desenvolvidos a partir de um sistema relacional paramétrico no *software Grasshopper + Rhinoceros*. Tais sistemas incorporam a essência do processo projetual paramétrico, pois em termos conceituais, estas interfaces são campos fluidos de investigação digital compostos por inúmeros elementos diferenciados, organizados de maneira mutuamente correlata (Schumacher, 2012, p.617). As correntes de modificações produzidas neste sistema permitiram avaliar os desdobramentos de uma alteração singular em todos os outros elementos, uma condição metaprocessual necessária para operacionalizar os ciclos de investigação e resolução do problema (Rocha e Venancio, 2017, p. 1756).

Os conceitos lançados aqui estabelecem um vínculo com os domínios do *software*, mas não se esgotam nele. De acordo com a “tríplice operacional”, a impressão 3D deve ser correlata à biomimética e a parametrização como processo de prototipagem rápida. Durante o desenvolvimento deste trabalho, no campo do *hardware*, foram inseridos os dispositivos de impressão: *Cube Pro* e *3D machine one*, máquinas disponíveis no laboratório de pesquisa Conexão Vix - UFES. Para Rocha e Venancio (2017, p. 1756), a processualidade destes dispositivos toca diretamente aspectos de natureza física, da ordem da resistência dos materiais, das limitações do equipamento de *hardware*, do tempo de produção,



entre outras questões do domínio operacional, mas que não se descolam da teoria e da conceituação. Ao contrário, em um processo de reflexão em ação, o domínio operativo é motor para a produção de conhecimento.

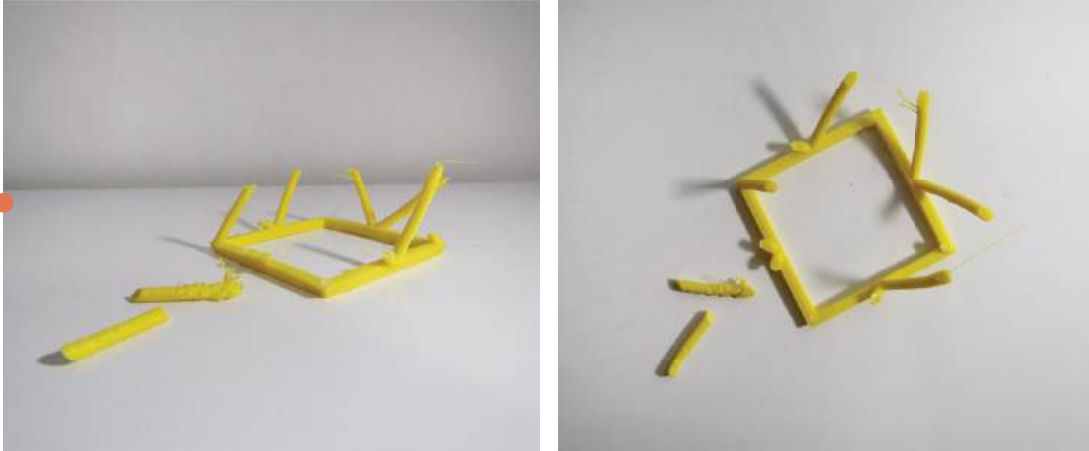
A contribuição que a prototipagem digital oferece sobre os processos tradicionais de produção em série é a produção customizada, capaz de gerar rapidamente objetos diferenciados, múltiplas versões de uma mesma ideia, potencializando enormemente a condição exploratória e experimental de um processo de projeto. No caso a seguir será possível ver que essa exploração se dá mais pela cadência de criação, desenvolvimento e testes do que uma experimentação plástica acentuada.

Posto esse levante, nasce assim o projeto “SH.ARCH” – Trocadilho com a palavra em inglês “Shark”, que significa tubarão, mas que é somada ao sufixo “ARCH”, de “architecture”. Aqui a ideia do projeto surge como uma proposta de metadesign (modalidade mais abstrata do design, tratando-o como um diálogo que precede o projeto em si,), para se criar uma peça parametrizada, mas que sua concepção seja um passo inicial para trazer posteriormente novas formas paramétricas de design. Como uma primeira frente de trabalho, foi desenvolvido um modelo tridimensional em programas recorrentes de modelagem de arquitetura, neste caso o *sketchup*, para um teste de prototipagem rápida em impressão 3D, porém os resultados a primeira instância, não foram bem sucedidos, como é possível analisar na imagem 26.





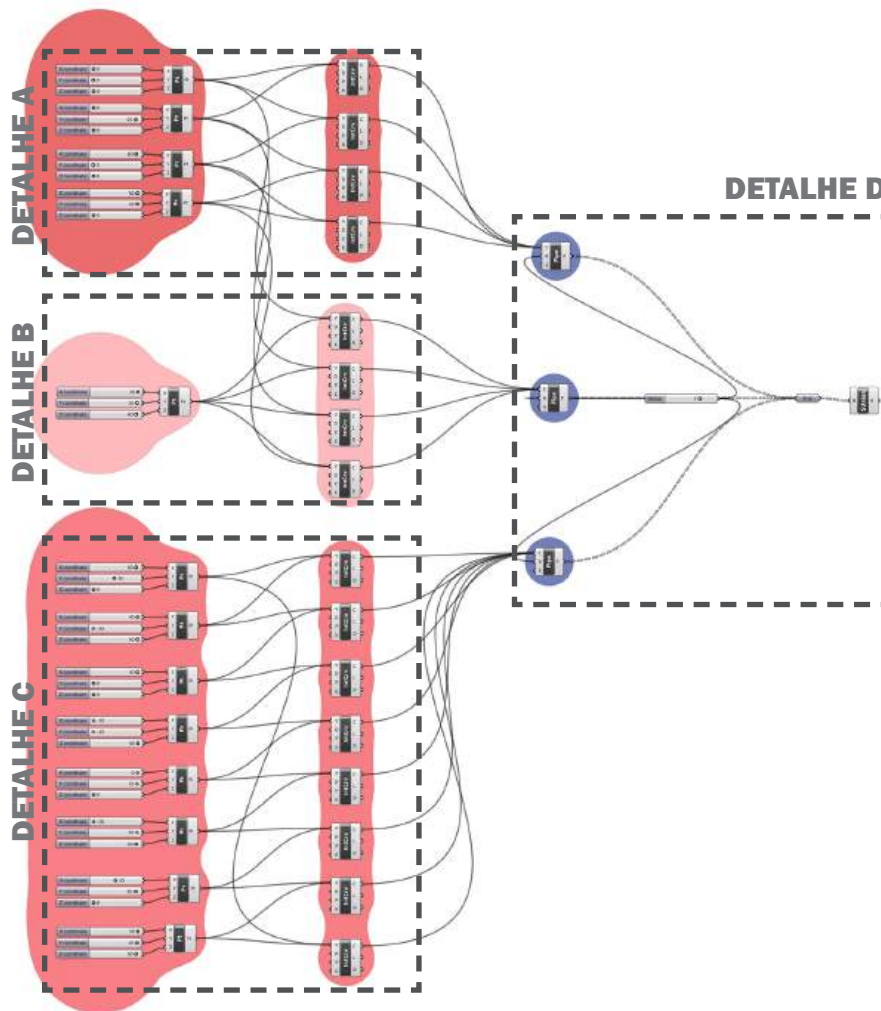
IMAGEM 26: FOTOS DA PRIMEIRA IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL DO PROJETO SH.ARCH.



Fonte: Acervo Próprio.

Neste primeiro momento foi possível perceber que estruturas de arestas muito finas poderiam gerar problemas futuros de impressão, então as programações paramétricas deveriam conter formas de melhorar esta questão. Assim, dando continuidade, iniciou-se então a criação do código paramétrico no *plugin GrassHopper*. O primeiro código desenvolvido, na imagem 27, foi uma representação do design escolhido no processo de “*brainstorm*” já contendo em mente as delimitações ditas anteriormente relacionadas à: triangulações com proporções de três para três; e ângulos iguais ou maiores que 45° graus e agora com espessuras mais largas.

IMAGEM 27: CÓDIGO 1

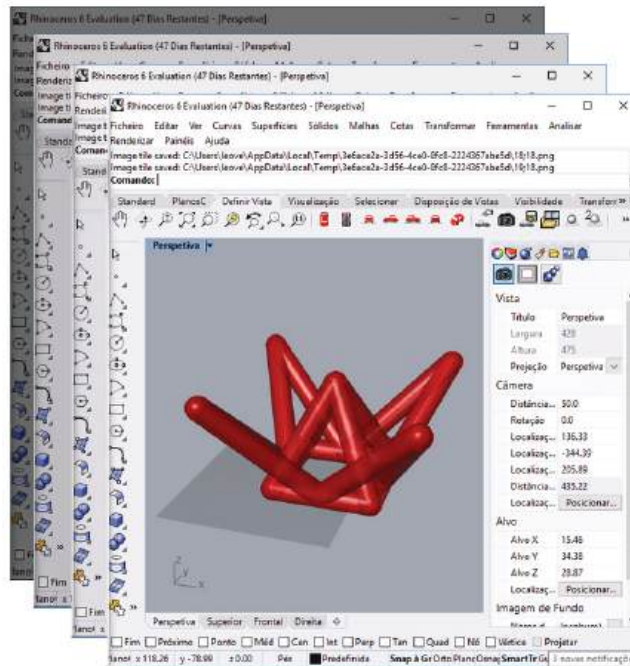


Fonte: Acervo Próprio.



O intuito deste primeiro código foi criar a base do sólido celular. Nele foi desenvolvido um prisma piramidal de base quadrangular no centro, pensando em questões de estabilidade e resistência, e no intermédio entre os pontos do quadrado-base saem arestas que se interligam, criando aletas de caráter triangular (imagem 28).

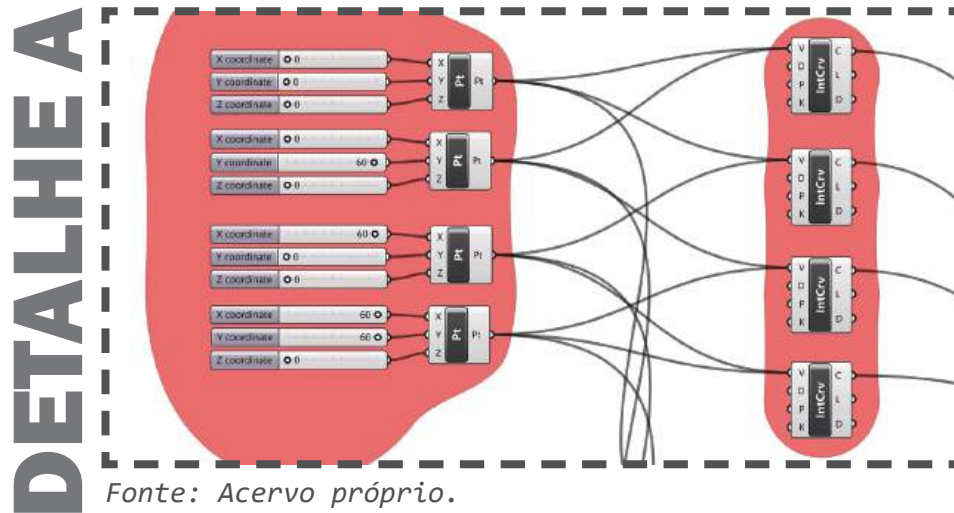
IMAGEM 28: RESULTADO TRIDIMENSIONAL DO CÓDIGO 1.



Fonte: Autoria própria.

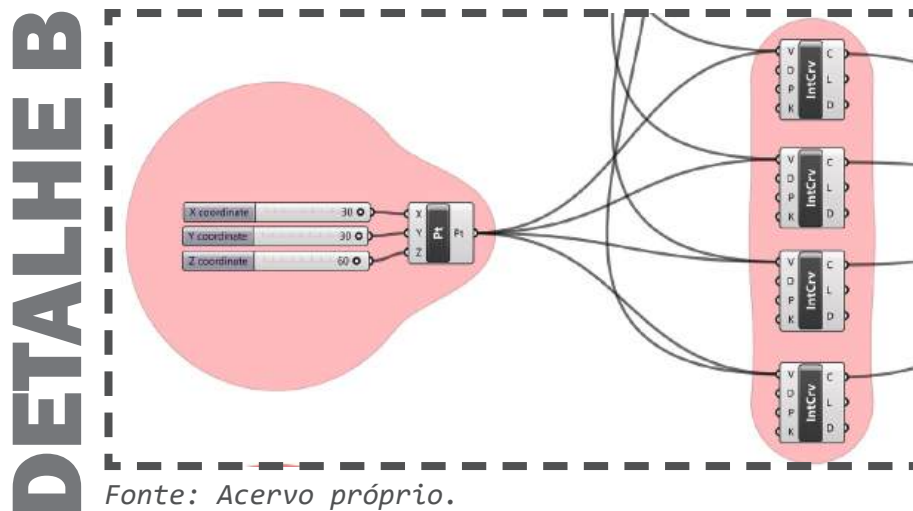


Ao falar desta primeira programação é, simplificada, entender que os elementos básicos de composição e representação das formas são os seus principais elementos geométricos: o ponto, a reta e os planos. Para Kandinski (1866-1944) “O ponto de partida para a teoria das formas é o ponto”, como afirma no seu livro *Ponto e Linha sobre Plano* (De Souza, [20-?], p. 108). Desta maneira, foram inicialmente criados os pontos que estruturariam o código, como é possível analisar nos detalhes abaixo (detalhes A, B e C). No **detalhe A**, foram posicionados os pontos que geram a base quadrangular da pirâmide. O intuito foi criar pontos dentro das proporções de medidas definidas anteriormente, mas de maneira que apresentassem uma característica de liberdade e adaptabilidade – que também pudessem se mover.





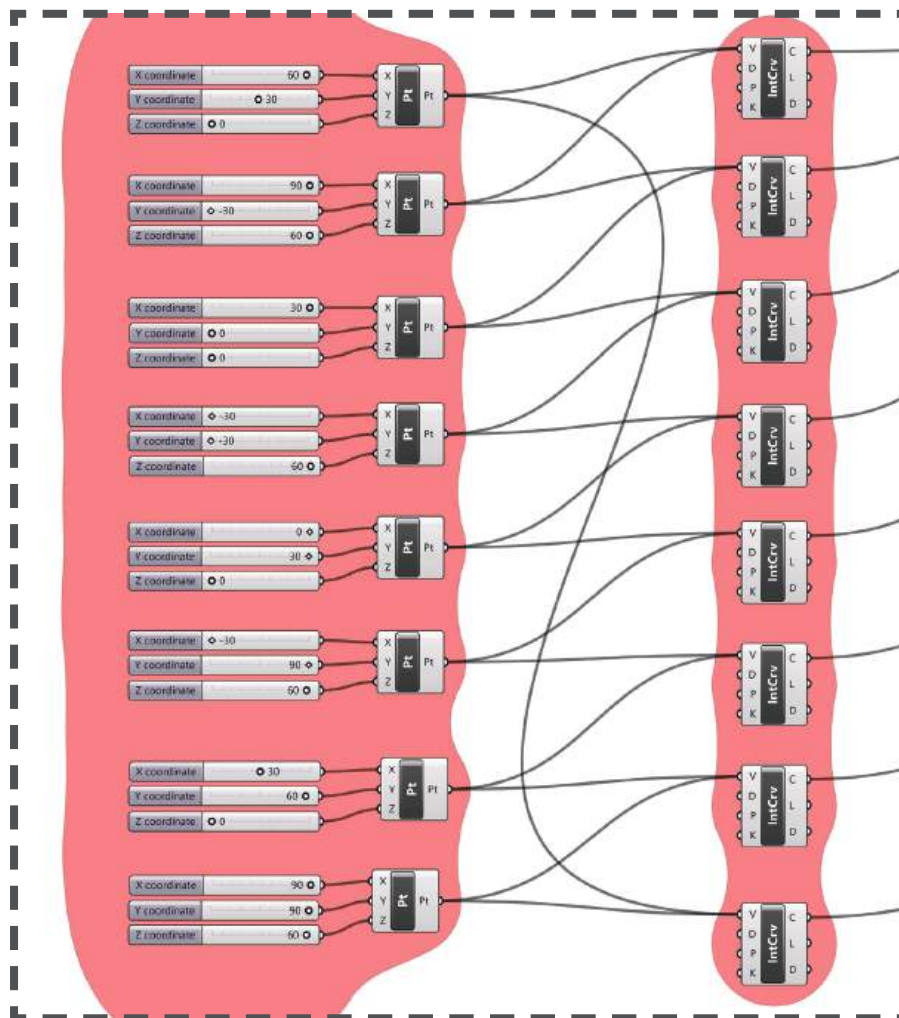
Posteriormente foram locados os pontos que geram a pirâmide em si, como é possível ver no **detalhe B**.



Após a criação do prisma central, foram criados os pontos que gerariam as aletas laterais, desta maneira, o conjunto do prisma com as aletas criam e remetem as geometrias triangulares dos denticulos do tubarão (**detalhe C**).



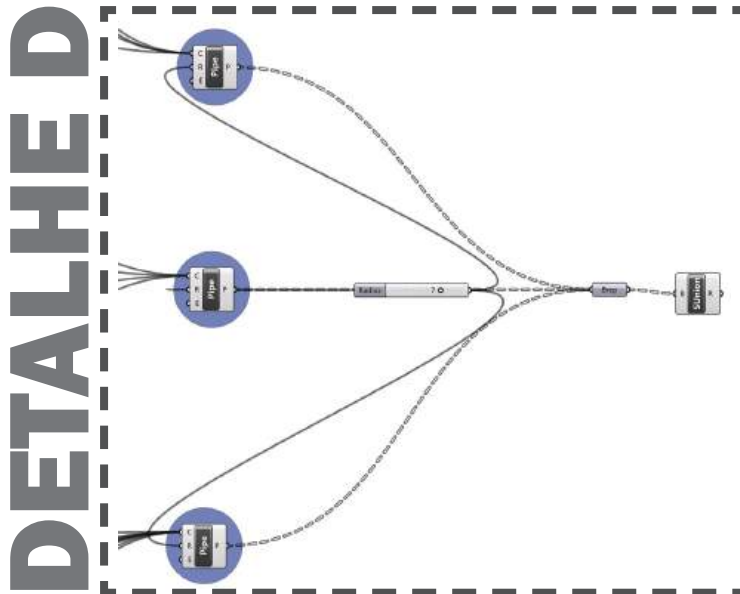
DETALHE C



Fonte: Acervo próprio.



É perceptível que todos os comandos dos pontos foram interligados no parâmetro do “*intercurve*”, que faz a conexão entre os pontos e criam as linhas guias que definem a geometria do sólido. Estas linhas guias foram posteriormente conectadas ao parâmetro do “*pipe*”, como é mostrado abaixo no **detalhe D**. Este comando diz à programação para criar estruturas tubulares ao redor das linhas guias. Ligado ao “*pipe*” foi colocado uma “*slider*” que define a espessura que esses tubos terão. Isso faz com que a programação adquira a função de gerar sólidos mais finos ou mais grossos, criando a possibilidade de adaptação para a realidade em que for utilizada posteriormente. Por fim, todos os comandos foram interligados para gerar um único sólido através do “*solid union*” (detalhe D).



Fonte: Acervo próprio.

Nesta programação, tais geometrias ao se interconectarem, geram uma rede de arestas e assim começam a dar sentido no significado mais simples do que são os sólidos celulares. Na imagem 29, com o processo de prototipagem rápida e impressão 3D, já se torna possível perceber que o primeiro código possui potencial de criação e fabricação. Logo após esta obtenção de resultados positivos, foi dada a continuidade no processo de desenvolvimento da programação paramétrica.

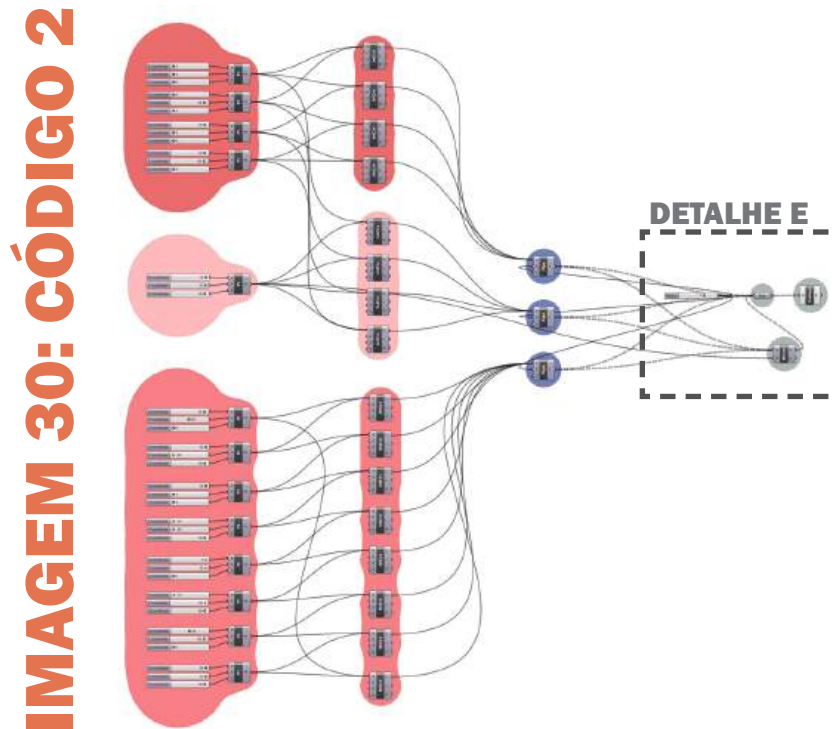
IMAGEM 29: IMPRESSÃO 3D DO CÓDIGO 1.



Fonte: Autoria própria.



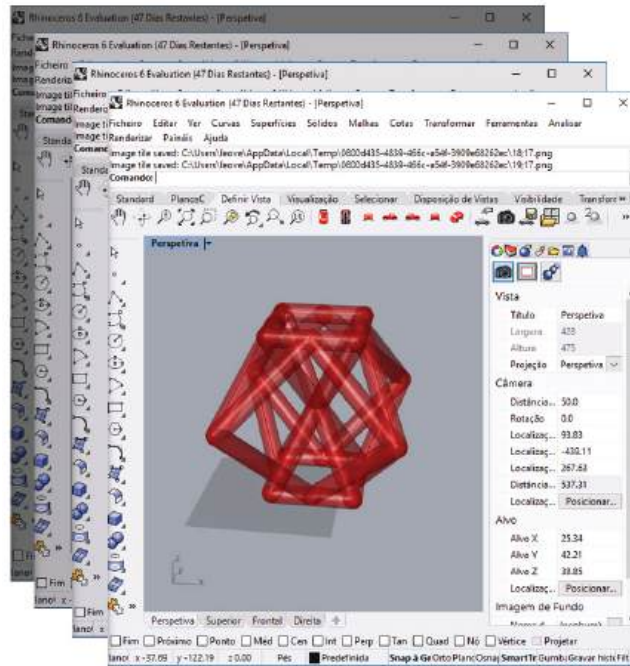
O segundo código é uma resposta ao primeiro, mas que foi criado de maneira a realmente definir a forma que o sólido celular do projeto SH.ARCH iria se tornar. As imagens a seguir contém a programação e seu respectivo resultado tridimensional. Neles consegue-se analisar que a estrutura criada no código 1 (um) foi duplicada no eixo Z e espelhada. Isso acabou por criar arestas responsivas que deram efeitos de rigidez, funcionalidade e estética satisfatórios e com altos potenciais de performance.



Fonte: Acervo Próprio.

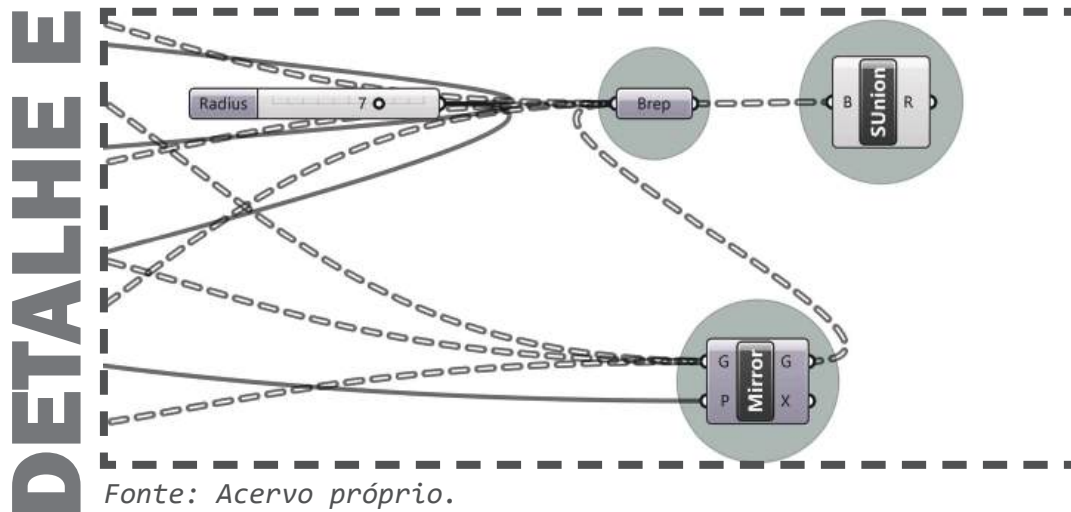


IMAGEM 31: RESULTADO TRIDIMENSIONAL DO CÓDIGO 2.



Fonte: Autoria própria.

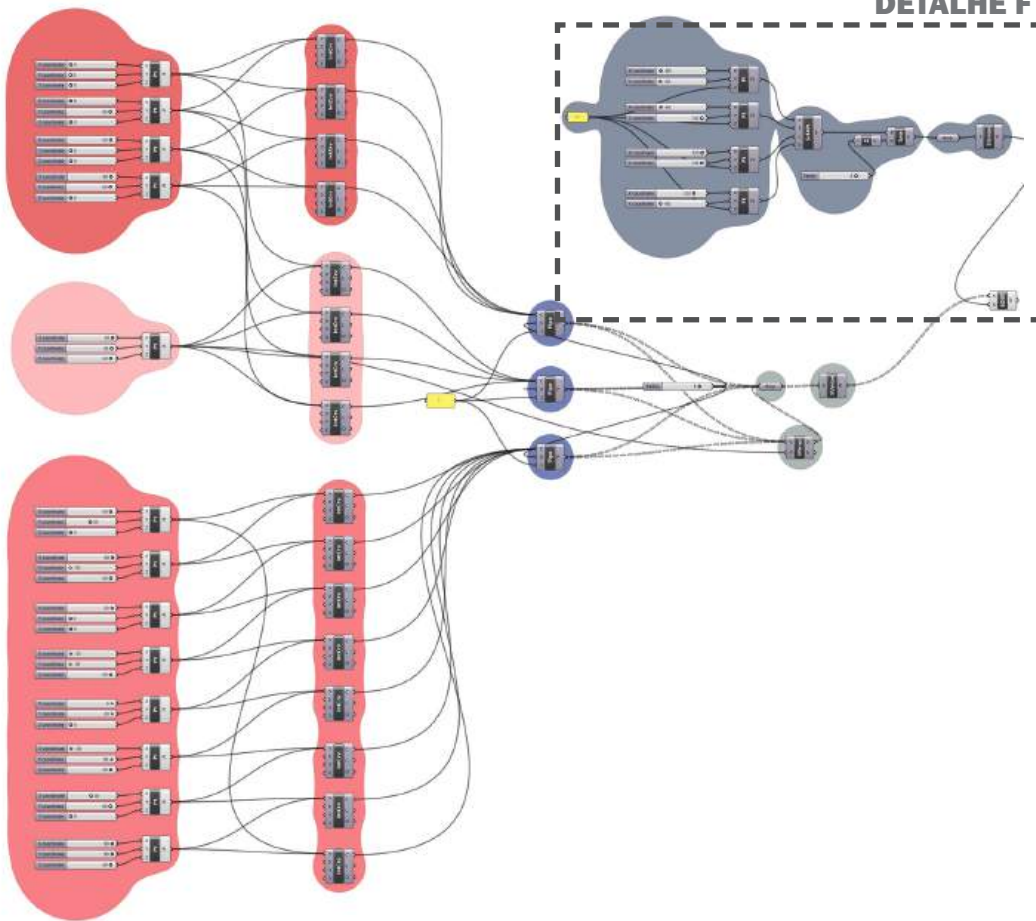
Em questões de programação, o resultado acima foi obtido de maneira simples, como é mostrado no **detalhe E**. Basicamente, após a estruturação do primeiro código, no segundo foi apenas espelhar, através do comando “*mirror*”.



Após o segundo código, foi necessário entender um pouco em relação à impressão 3D no sentido do campo real. Como já dito em capítulos anteriores, ao imprimir, o material aquecido é depositado sobre uma mesa e ele vai como tempo se resfriando. Superfícies abauladas e arredondadas – que era o caso da programação – poderiam acabar se descolando da mesa de impressão devido seu contato de superfície ser pequeno, logo isso iria gerar problemas ao criar os protótipos. Para atender esta demanda, foi criado um terceiro código, que contou com parâmetros para fazer uma secção na base e assim aumentar a região de superfície de contato entre o sólido celular e a mesa de deposição de material (imagem 32).

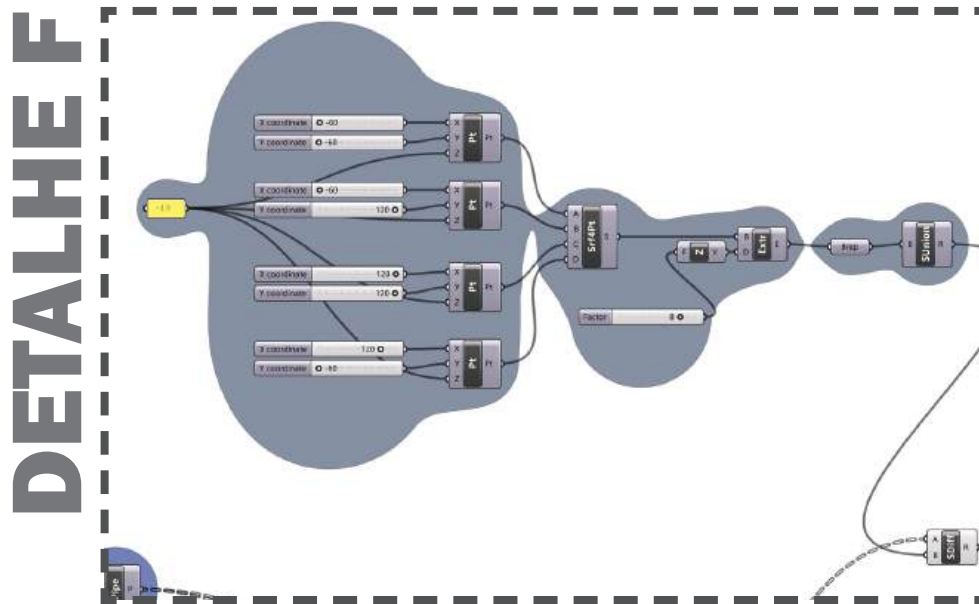


IMAGEM 32: CÓDIGO 3



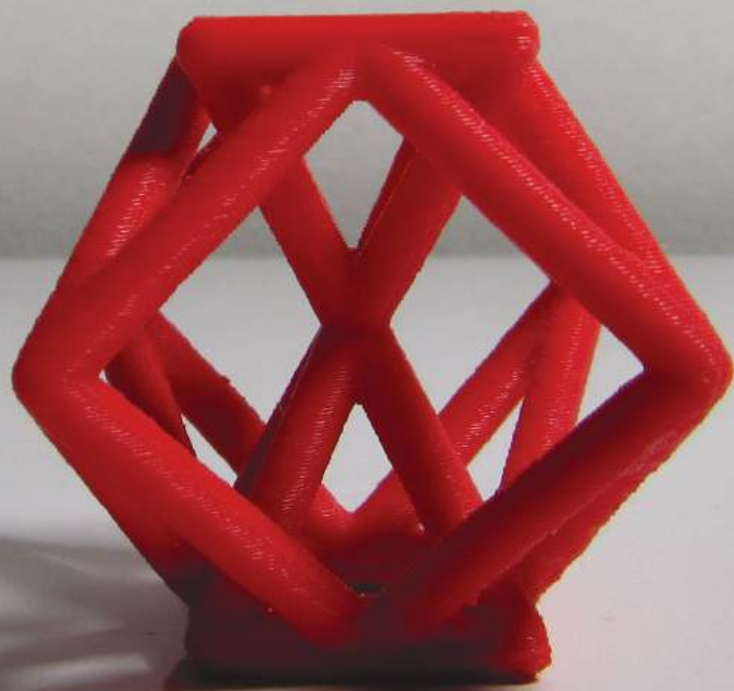
Fonte: Acervo Próprio.

O **detalhe F** demonstra como foi desenvolvido este “corte”. Para isso, criou-se um novo volume de base retangular, que foi posteriormente extrudado, e que quando ligado ao sólido celular, ocorreu um “*solid difference*”, gerando este corte na base do sólido na altura em que o outro volume foi extrudado.

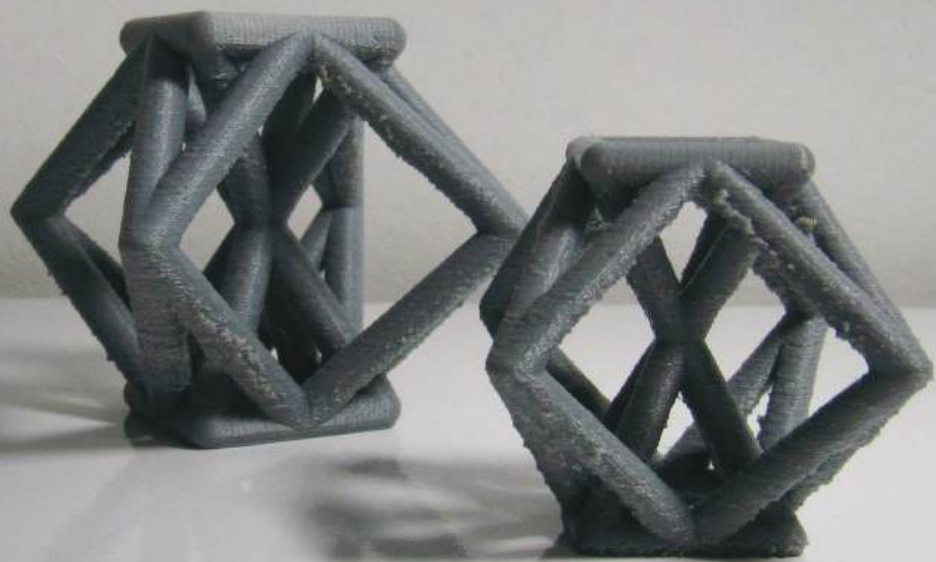


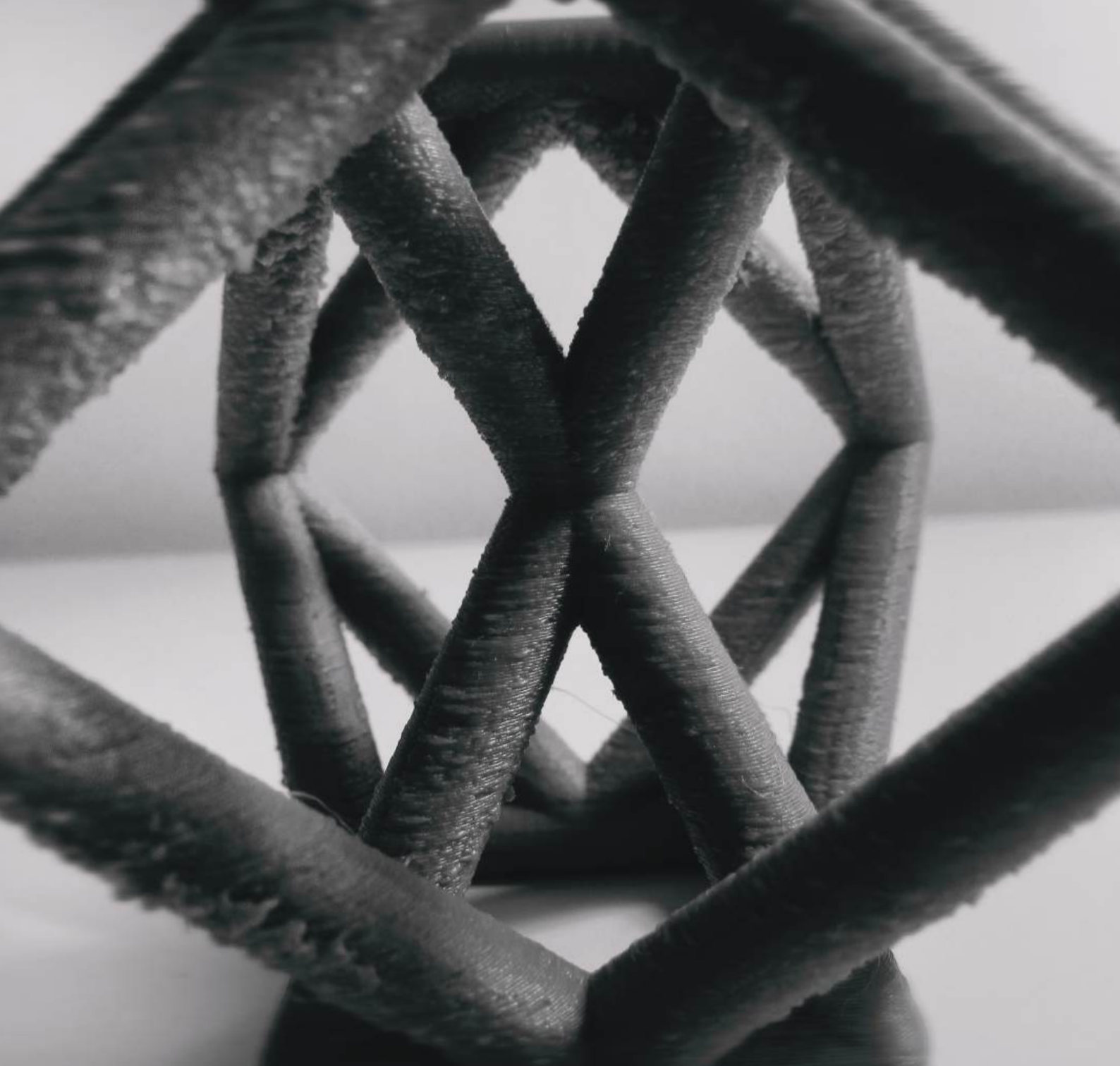
Fonte: Acervo próprio.

Após a finalização do terceiro código, foram geradas novas impressões do sólido celular, demonstrando uma sequência de bons resultados quanto à prototipagem rápida.







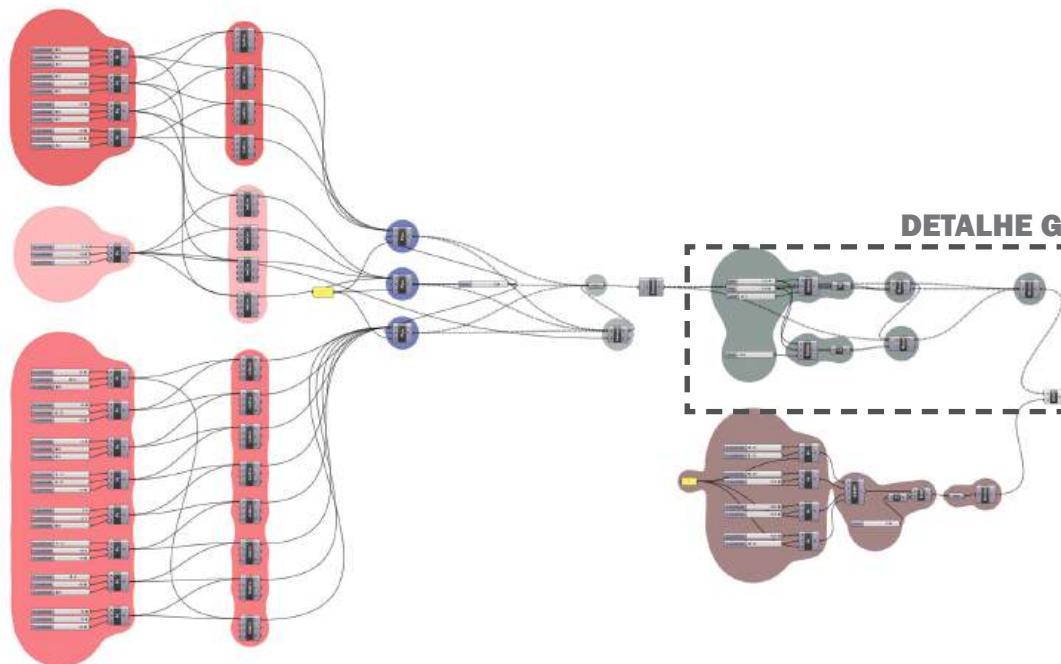




Ao esboçar o escopo deste projeto de graduação, o intuito inicial foi de conseguir gerar um sólido celular que sustentasse a ideia de uma pele arquitetônica autônoma, adaptável a sua necessidade e realidade, com uso flexível e que pudesse reaver conceitos entre a forma, a função e a materialidade, além de repensar como a arquitetura tem impactado ao meio ambiente. De acordo que o projeto foi sendo desenvolvido, o potencial que o sólido celular SH.ARCH poderia alcançar começou a ampliar novos horizontes. Neste momento a atenção será voltada para o sentido da pele arquitetônica e posteriormente, em análises futuras, será possível voltar ao tema dos usos.

Após gerar este sólido celular, o próximo passo foi então gerar um código que demonstrasse a primeira instância, um fragmento de vedação, de maneira que pudesse ser impresso tridimensionalmente e carregasse, novamente, as questões de densidade, permeabilidade/ventilação e sustentação. O quarto código continua sendo um processo de criação que se perpetua desde o primeiro código (imagem 34).

IMAGEM 33: CÓDIGO 4



Fonte: Acervo Próprio.



Este quarto código é uma replicação dos códigos anteriores nos eixos X e Z, como é demonstrado no **detalhe G**. Essa replicação acaba por depender da potência dos computadores desenvolvidos, porém a programação habilita a criar desde fragmentos de vedação, como é o caso, até paredes de maiores proporções. Uma das desvantagens do código quatro é que ele cria apenas paredes “retilíneas”, limitando ainda o processo e liberdade de criação quanto à variação de escalas e proporções, já que replica as mesmas dimensões do sólido celular inicial (Imagem 35).

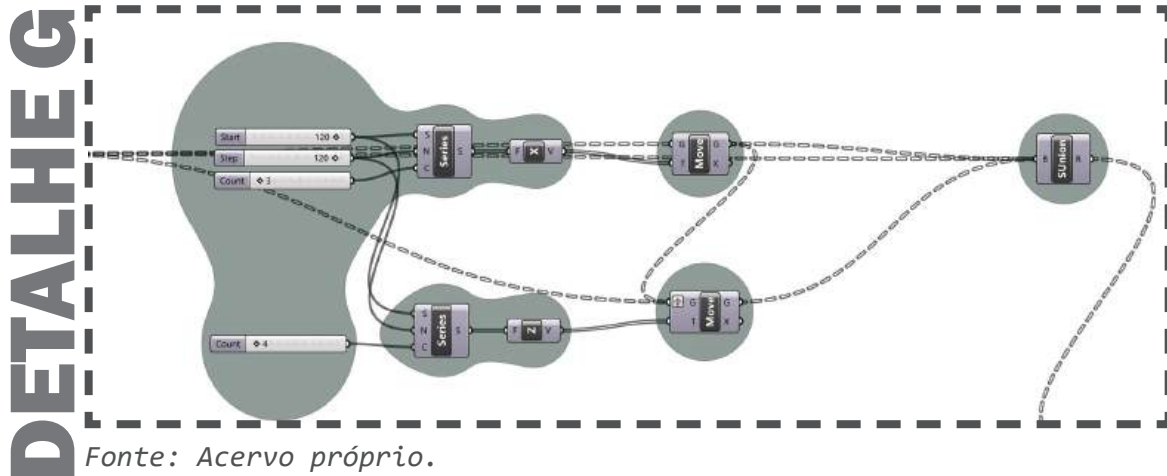
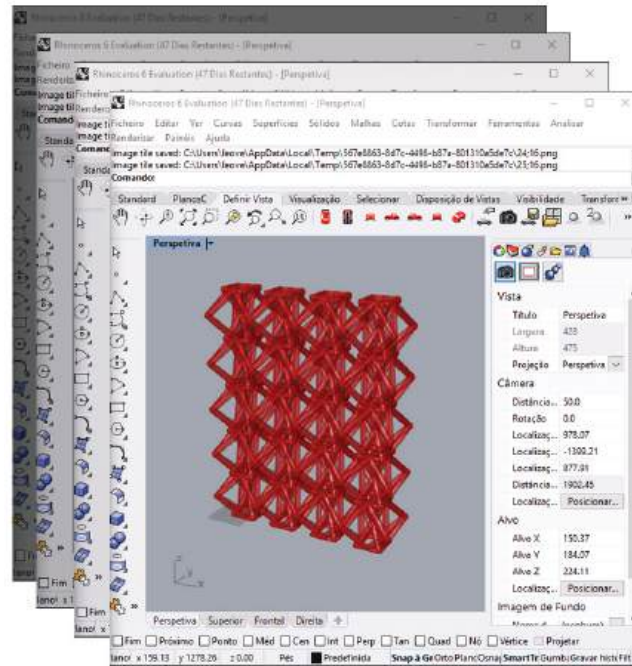
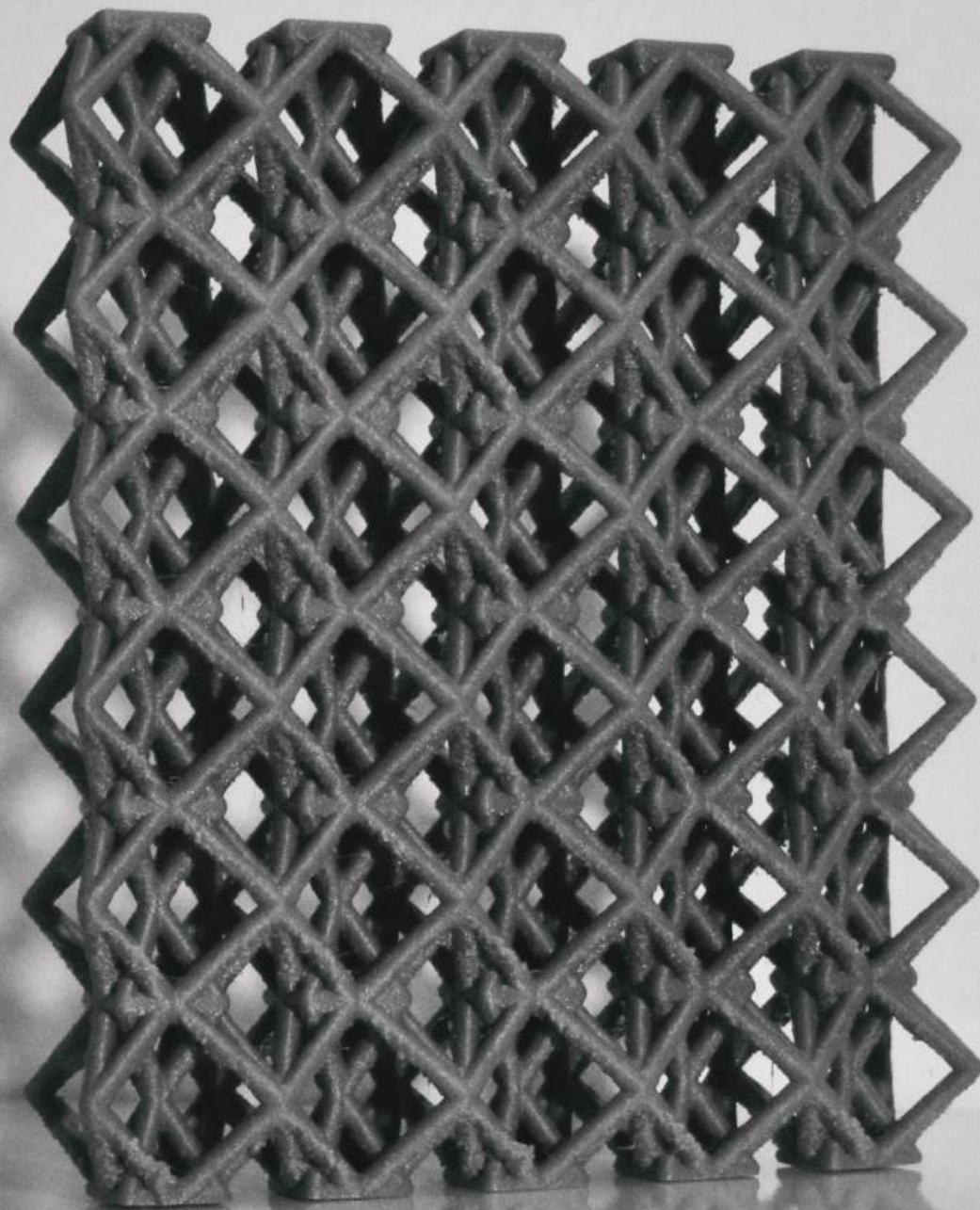


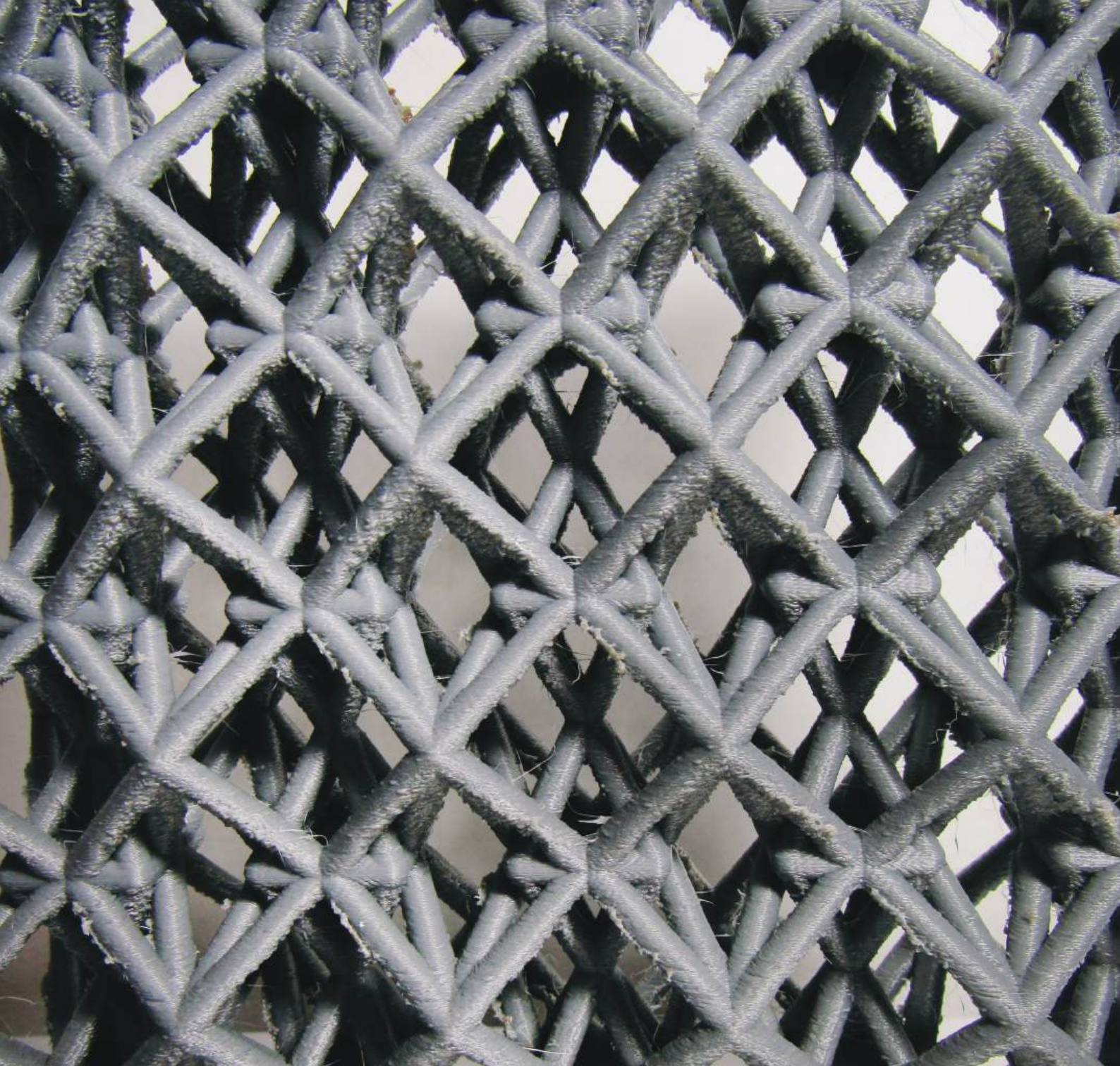
IMAGEM 34: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO FRAGMENTO DE PAREDE.

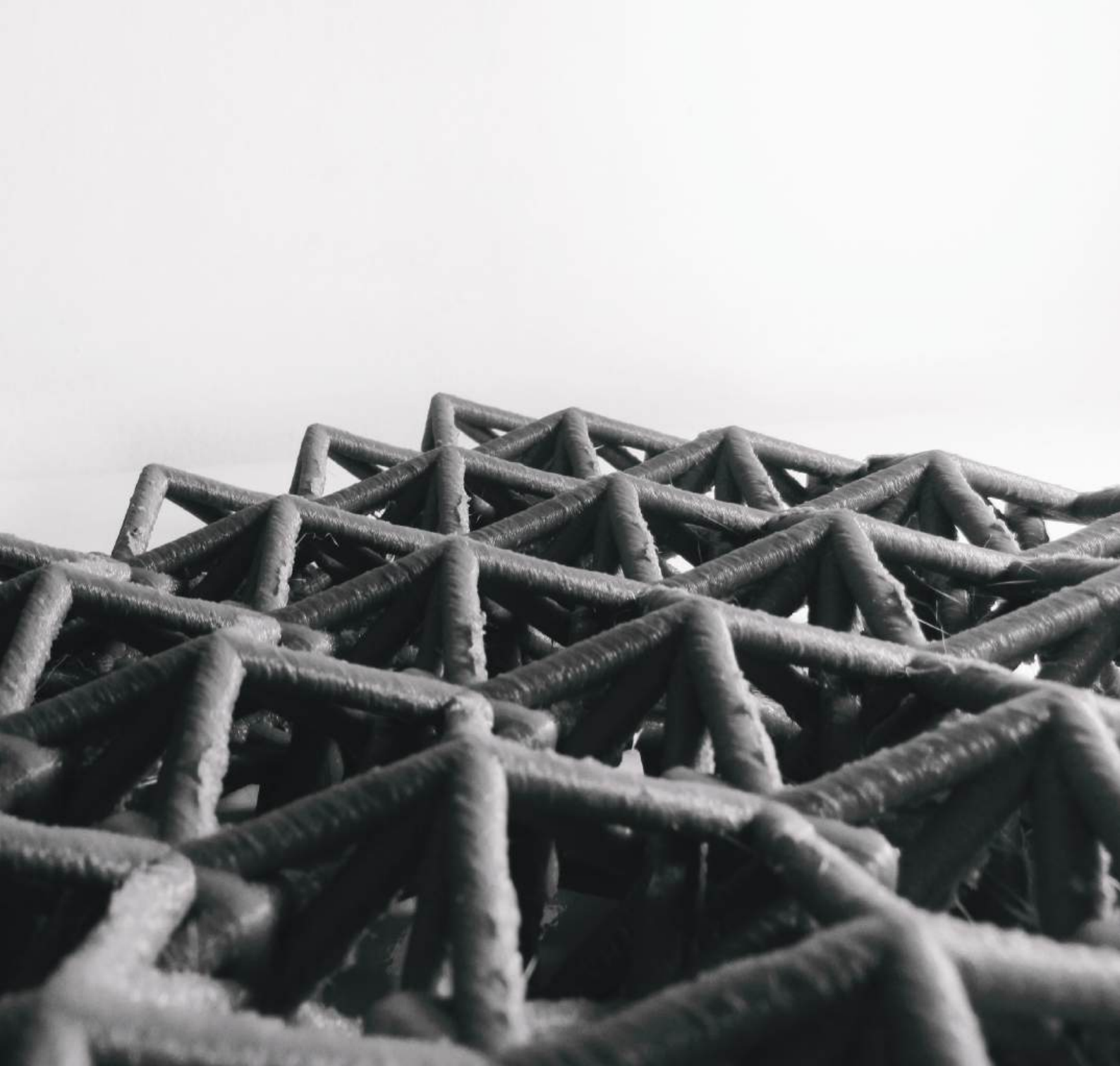


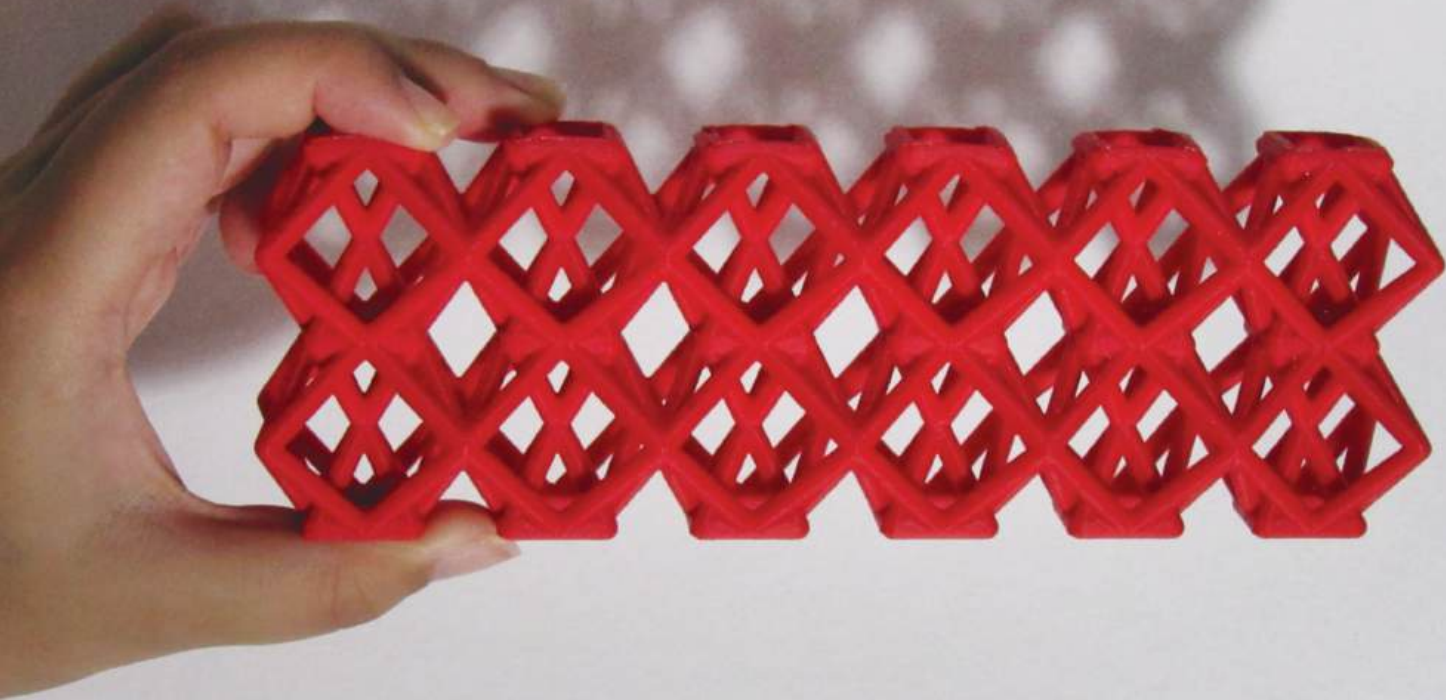
Fonte: Autoria própria.

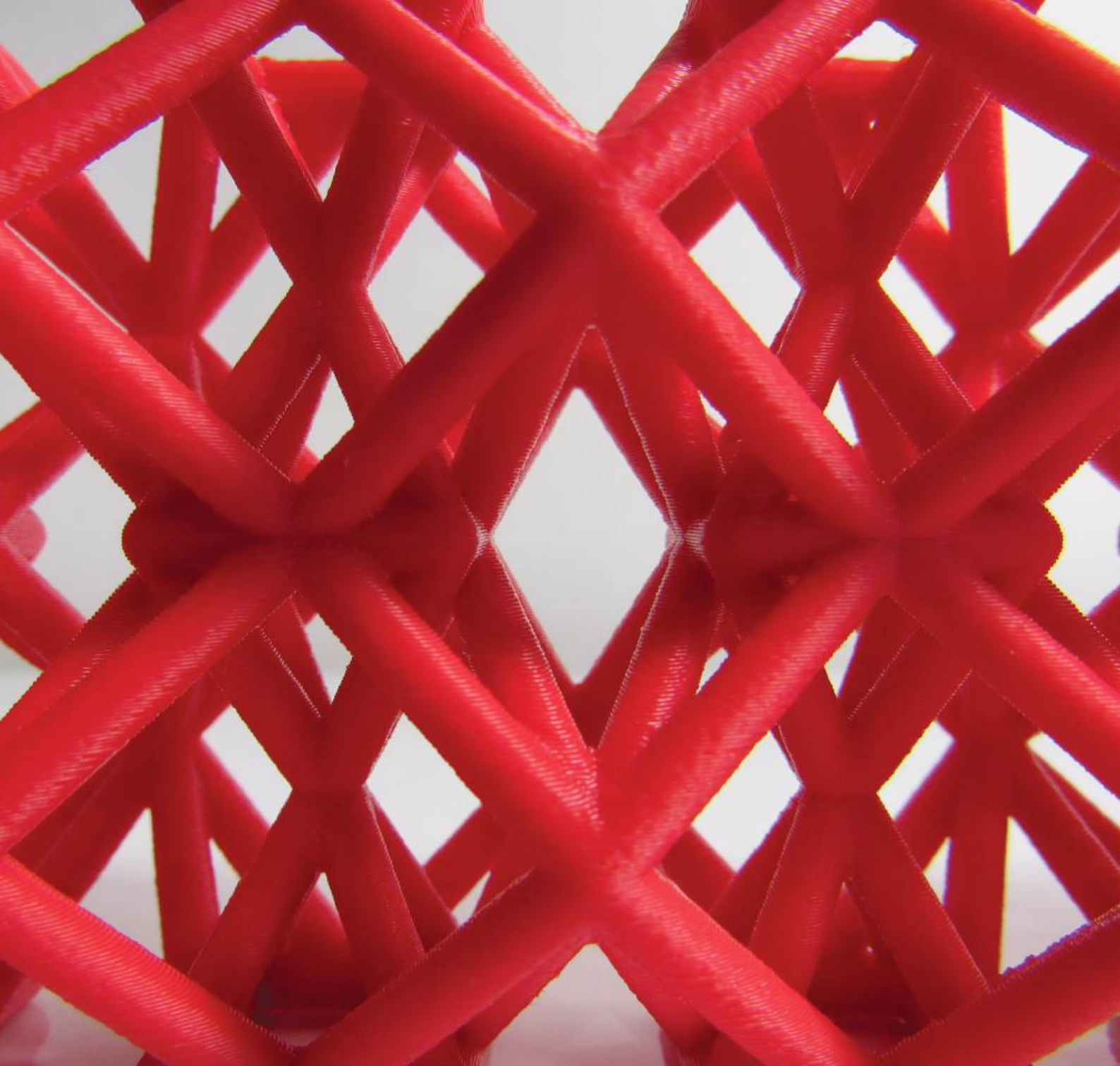
Novamente, para gerar um processo de prototipagem rápida preciso, a programação contou com um “corte” na base da estrutura (imagem 34), e a impressão 3D ocorreu sem conformes problemas, como mostram as imagens a seguir.











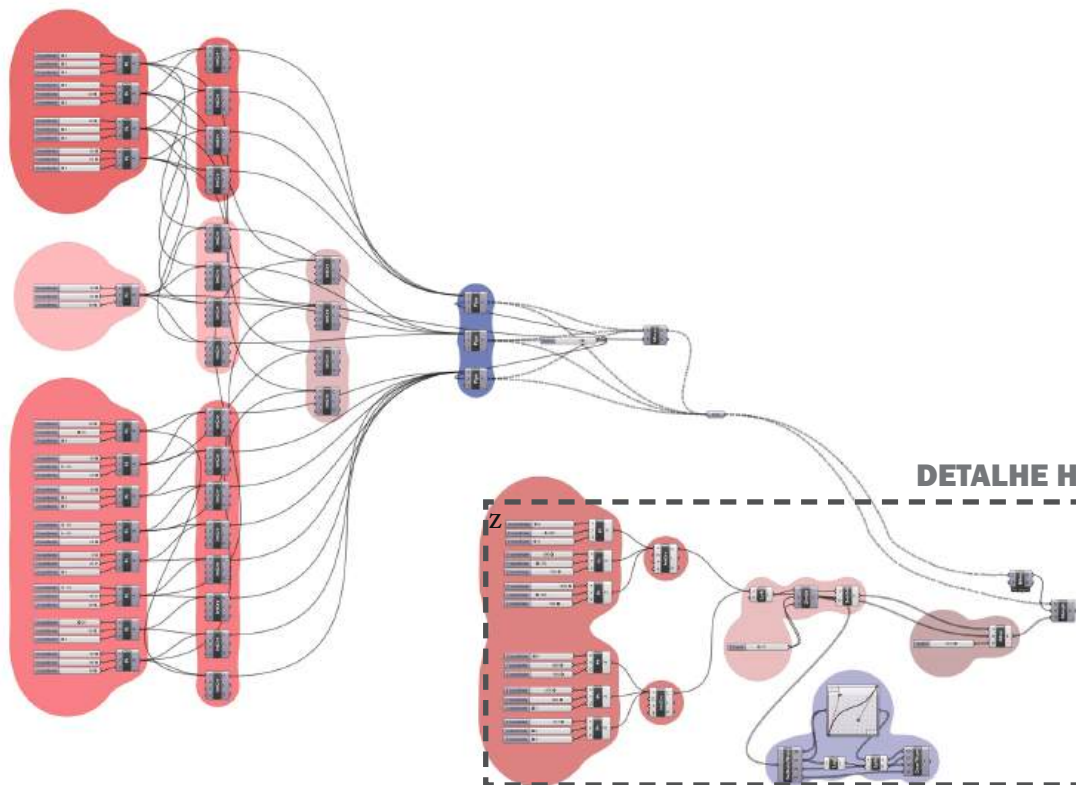


Vale ressaltar que a partir do desdobramento do quarto código é possível definir a tipologia de sólido celular recorrente deste projeto. Dentre os três tipos definidos no capítulo IV, o sólido celular SH.ARCH se caracteriza por ser um ***“open-celled foam”***, um **sólido celular de células abertas**. Estas terminologias se fazem importantes porque define as características dos sólidos celulares e assim, o nível de importância de suas aplicações quando ao isolamento térmico, acústico e elétrico, quanto a sua rigidez, absorção de forças e energias e resistência a impactos, e também quanto às demais funções que podem vir a desempenhar.

Com o intuito de aumentar a liberdade plástica - importante quando se fala de arquitetura e intensificado com o advento da parametria - e expandir os horizontes da programação do projeto SH.ARCH, foi criado um quinto código, sendo ele para explorar as possibilidades do sólido celular enquanto desdobramentos de peles arquitetônicas. A construção deste código se deu a partir da união do sólido celular desenvolvido já no terceiro código paramétrico com a adição da criação de uma estrutura de superfície, como mostra o código a seguir (imagem 35).



IMAGEM 35: CÓDIGO 5



Fonte: Acervo Próprio.

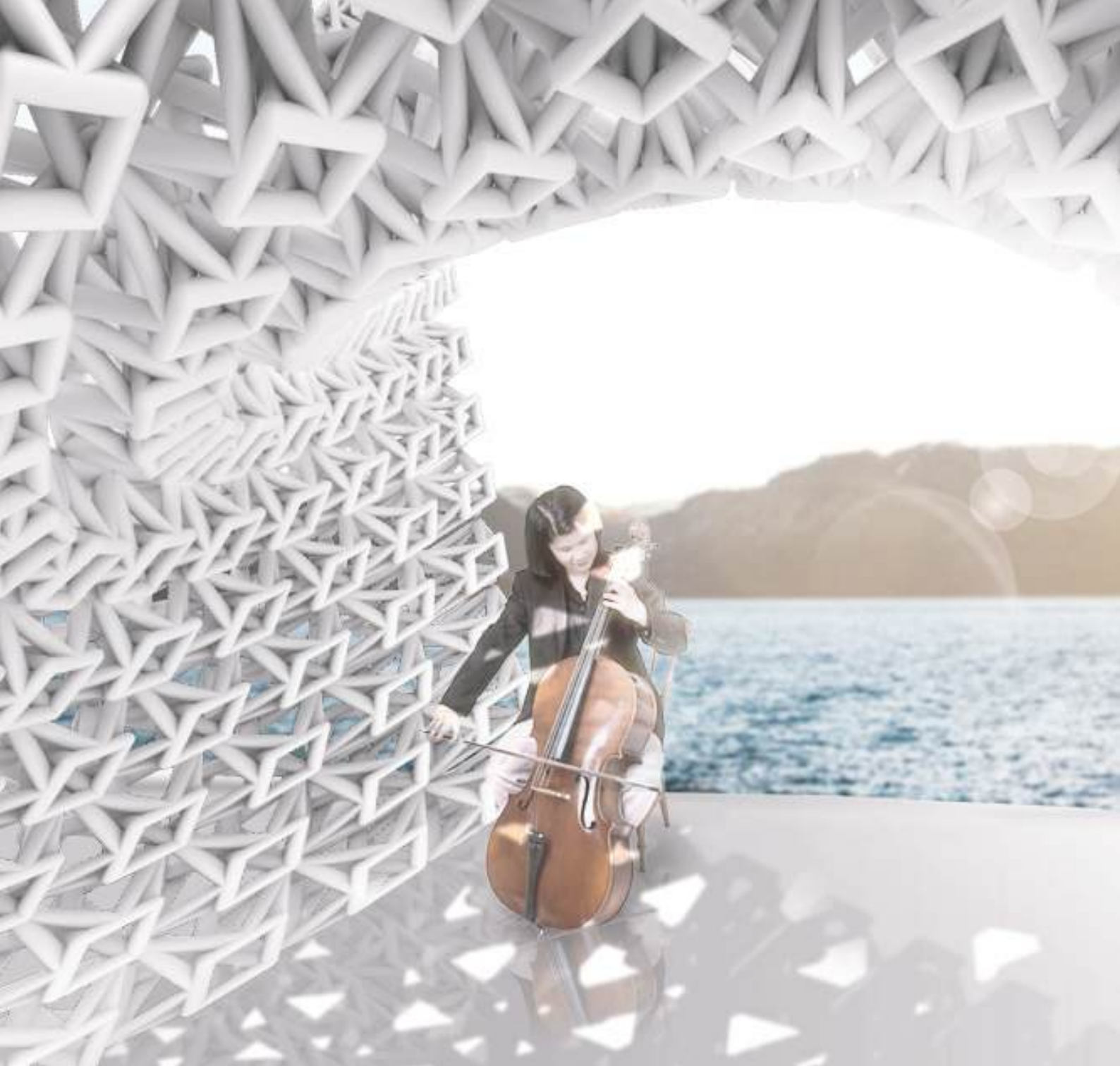


O interessante desta programação é que dá para movimentar os pontos e gerar uma gama de tipologias de peles arquitetônicas diferentes. Além disso, o código foi criado de maneira a gerar tanto a possibilidade de uma superfície que redistribui os “boxes”/sólidos celulares de maneira uniforme, quanto de maneira aleatória (imagens 37 e 38).



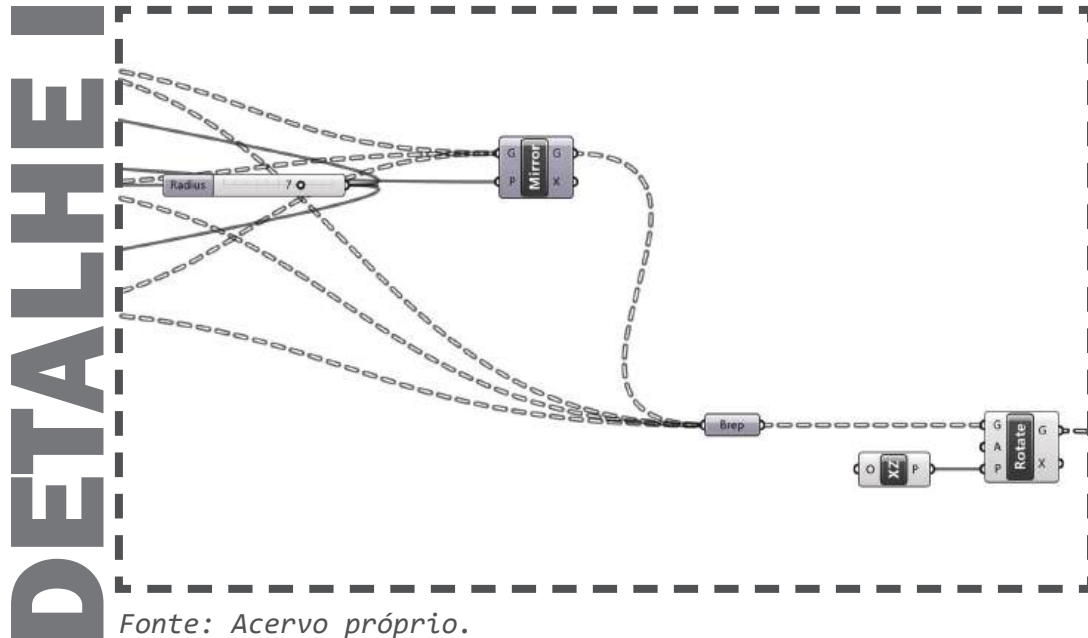








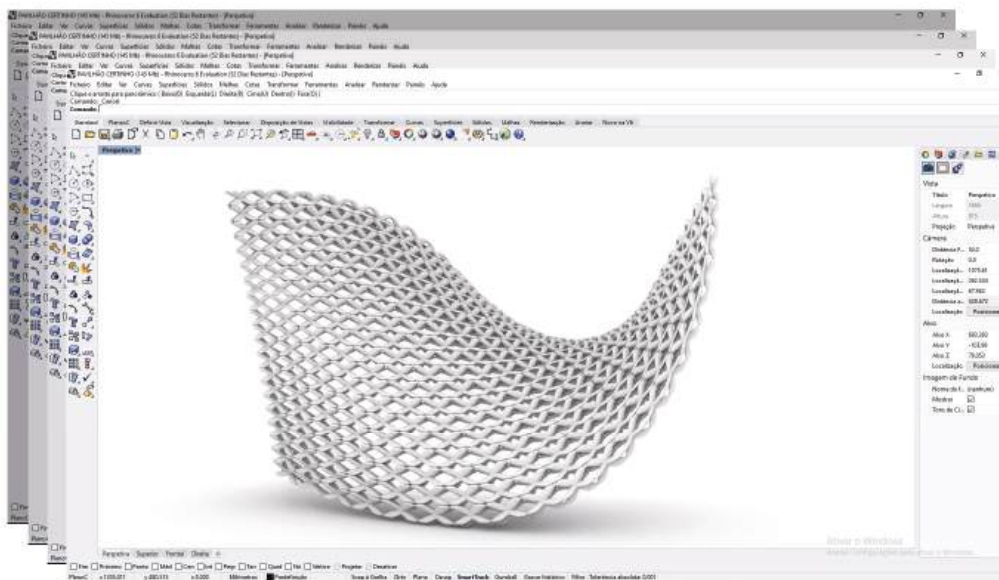
Como foi possível perceber na imagem anterior, o quinto código apresenta duas grandes desvantagens. A primeira é que o código desconecta os pontos de contato entre as arestas. A segunda desvantagem é que o código acaba por rotacionar os sólidos celulares, fazendo que a base fique invertida e se posicione na horizontal ao invés da vertical. E outra segunda desvantagem é Para tentar equacionar isso, em um novo código, o sólido celular foi rotacionado, como é possível ver no detalhe I.



Fonte: Acervo próprio.

Ainda assim o resultado não foi totalmente satisfatório, pois a programação acaba por distorcer a geometria inicial do sólido celular SH.ARCH (imagem 38). Apesar destes dois últimos códigos terem estas desvantagens, num processo de metadesign, já se torna possível uma visualização do efeito estético de como uma superfície gerada a partir destes sólidos celulares se comporta, seu efeito e seu impacto.

IMAGEM 38: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA – TESTE DE PELE ARQUITETÔNICA CURVA



Fonte: Autoria própria.



Até este ponto, a validação dos códigos foi feita a partir do funcionamento tanto na área de sua fabricação digital quanto do seu processo de prototipagem. Para um sólido celular se tornar verídico, é necessário que ele seja a interligação entre a forma, a função e a materialidade. É viável a compreensão que a forma do projeto SH.ARCH foi uma correlação a todo momento com sua função enquanto arquitetura, mas isso só se torna possível a partir do momento em que a impressão tridimensional acompanha todo o processo de design, em que na verdade, a materialidade se faz presente.

Por mais que haja a necessidade de uma sequencia de testes de usos - assim como qualquer produto de design e arquitetura - e que virá a ser feito posteriormente, é fundamental falar de início sobre a materialidade, pois ela implica totalmente na performance dos sólidos celulares em geral e conseqüentemente em seu uso - logo, novamente, um ciclo: forma/função/materialidade.



MATERIALIDADE E MATERIALIZAÇÃO

Uma vantagem particular da abordagem dos sólidos celulares é a ampla gama de materiais em que eles podem ser aplicados: a partir da materialidade proposta dentro do escopo da materialização - neste caso, o campo da impressão 3D enquanto manufatura aditiva. Certamente, as propriedades mecânicas dos sólidos celulares são governadas pelos materiais que são feitos, sendo o mais influente a sua topologia - estudo das propriedades geométricas de um corpo - e a sua densidade relativa (Naboni, 2017, p. 3).

A pesquisa do sólido celular descrita até agora foca no uso de recursos materiais disponíveis no laboratório Conexão Vix - UFES e é trabalhado a partir de termopolímeros, tanto o PLA - ácido polilático, quanto o ABS - acrilonitrila butadieno estireno (mais utilizado durante este trabalho). A impressão 3D através da manufatura aditiva destes materiais termopolímeros garante alta complexidade e controle relativo à liberdade geométrica, assim como o uso de materiais rentáveis. Isso leva vantagem ao fato de que os polímeros termoplásticos podem ser modelados em qualquer forma desejada, enquanto preservam praticamente suas propriedades mecânicas e térmicas.

Enquanto polímeros naturais como o algodão, a madeira ou o couro tem sido utilizados desde os primórdios, os polímeros sintéticos começaram a surgir no início do século XX. No entanto, devido à capacidade dos químicos de engendrará-los para produzir qualquer conjunto



desejado de propriedades (resistência, rigidez, densidade, resistência, condutividade elétrica), os polímeros sintéticos se expandiram rapidamente em seu papel dentro da economia industrial contemporânea. As opções de design que esses novos materiais oferecem foram rapidamente descobertos e por isso não demorou muito eles participaram da prática diária de construção. Formas que tinham sido impossíveis no passado, foram adicionados ao vocabulário de indústria e design (Naboni, 2017, p. 4).

Os termopolímeros consistem em cadeias moleculares lineares ou ramificadas que não formam ligações uns com os outros. Em vez disso, eles são mantidos juntos através de forças físicas fracas, chamadas de forças de valência secundárias, que são rompidas quando o material é aquecido. Isso permite que a cadeia molecular se mova, significando que o material polímero torna-se macio e moldável (Knippers et al., 2010 apud Naboni, 2017, p. 4).

O material PLA é um *“poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo, bi compatível e biodegradável, sintetizado a partir do ácido lático obtido de fontes renováveis”*. Sua composição é derivada do amido de milho, cana-de-açúcar, raízes de tapioca e amido de batata. O PLA é um material quebradiço, então não é muito utilizado em peças que requerem resistência mecânica, e também em peças com exposições a temperaturas em torno de 60°C ou mais (Besko, Bilyk, & Sieben, 2017 p. 11).

O polímero ABS é um copolímero obtido a partir de reações de três monômeros diferentes: o acrilonitrilo,



butadieno e estireno. O ABS é superior ao PLA em relação às suas propriedades mecânicas, é mais durável, apresenta maior resistência e é considerado leve. Ele ainda suporta temperaturas mais elevadas, é ligeiramente flexível e sua maior vantagem em relação ao PLA, deve-se ao fato de ser o termoplástico mais barato no mercado de filamentos para impressão 3D. A desvantagem do ABS é uma pequena geração de fumaça durante o processo de impressão considerada tóxica (ibidem, p. 12).

Vale ressaltar, que para esta pesquisa, os materiais PLA e ABS, são fatores de concretização em fases de teste em laboratório, restringidas a protótipo em escala, devido apresentarem uma aplicabilidade reduzida para projetos de arquitetura. Por mais que este trabalho faça um recorte e pare nos testes de prototipagem com os termopolímeros, esta é uma questão que acaba instigando a procurar novas soluções para testes futuros e abre discurso para o que já foi citado no capítulo III quanto a “Ecologia do Material”. Neste tema, exemplos pertinentes nesse espectro de materialidade, que possuem alto poder tecnológico e de inovação, são os biomateriais, materiais mediados e responsivos, assim como materiais compósitos (Oxman, Ortiz, Gramazio & Kohler, 2015, p. 2).

Dentro do campo construtivo, a mudança da fase de prototipagem para a fabricação direta está principalmente relacionada à melhoria dos materiais, que comparada a etapa de design e protótipo, se torna mais complicada de alcançar (Naboni, 2017, p. 4). 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 (Rocha & Venancio, 2017, p. 2).

De acordo com Keating e Oxman (2013, p. 5), pode-se afirmar que o novo paradigma do processo construtivo deste século é a fabricação coerente, durável e responsável. Os autores ainda dispõem que ao tratarem do enorme desafio, é também que, novas oportunidades 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.

Mas se engana quem acha que isso possa a vir como processo simples de exploração e desenvolvimento, porque falar da materialidade - principalmente quando se fala de biomateriais - é caracterizar os materiais quando a sua responsiva aplicação ao meio, as suas propriedades mecânicas e os requisitos químico-dimensionais, que são alguns dentre vários elementos-chave em suas aplicações de grande escala (Naboni, 2017, p. 3).

Este processo da materialidade 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). Com as técnicas atuais torna-se viável alterar os padrões básicos de organização dos materiais melhorando seu desempenho em diferentes níveis (ibidem, p.2).



Para tentar exemplificar o que vem sendo discutido, será apontado um material que tem sido explorado em campos teóricos há um tempo no laboratório “Conexão Vix” e pode ser apontado como um biomaterial compósito que também tem sido devéras estudado e melhorado: o acetato de celulose.

O acetato de celulose é um material semissintético abundante (Thompson, 2015, p.30), que permite o desenvolvimento de produtos recicláveis em diversas áreas. Este material é um polímero termoplástico rígido e possui uma 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 tem sido 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 destas vantagens, este tipo de acetato 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).

Devido à ampliação de seu uso no mercado, diversas pesquisas e experimentos vêm 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. 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 (ROCHA E VENANCIO, 2017, p. 3).

Por mais que algumas vezes transpareça que estes materiais desenvolvidos devem ser provenientes de grandes polos de pesquisa ou de grandes laboratórios estrangeiros, este tipo de trabalho demonstra que tais materiais podem ser desenvolvidos a partir de riquezas locais. Obviamente, como dito, o processo envolve muitas questões e testes, mas além de falar de tecnologia, é possível carregar ainda características próprias de valorização local e criar ainda uma nova cadeia de sustentabilidade.



Para aproximar a questão do acetato de celulose dos sólidos celulares, por exemplo, seria necessário viabilizar o caso da impressão tridimensional para além da prototipagem, mas para o campo de uso construtivo. A viabilidade deste material no campo da fabricação digital aditiva de impressão 3D pode ter sido difícil durante certo tempo, mas vêm-se quebrando paradigmas. 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 de 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 (Rocha & Venancio, 2017, p. 3).



Essa técnica criada por Pattinson & Hart (2017) apresentou resultados significativos em termos de resistência comparada 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).

Como o avanço destas pesquisas não param, antes mesmo de se falar da impressão tridimensional do acetato de celulose, já se falava de trabalhos a partir de materiais biocompósitos nanométricos. Isso pode ser desenvolvido no próprio acetato de celulose. Este material, quimicamente e microestruturalmente falando, possui uma heterogeneidade que causa baixa resistência, baixa tensão para falha, alta sensibilidade à umidade, e problemas de odor e descoloração – que acambam sendo tratados com outros processos e fibras. Para melhorar o controle de orientação das fibras e o aumento de seu comprimento, vem ocorrendo uma revisão de suas estruturas através de um reforço alternativo de nanofibras. Essas nanofibras possuem alto comprimento / proporções de diâmetro. E tem vindo como um reforço alternativo para as nanopartículas que são caras e se utilizam de matéria prima, fontes poluentes. De acordo com Berglund e Peijs (2010, p.1), matrizes de nanopartículas e polímeros nanocompósitos baseados em redes de celulose apresentam alta resistência, baixa adsorção de umidade, baixa expansão térmica, alta estabilidade térmica, alta condutividade térmica, propriedades de barreira excepcionais e alta transparência óptica.



O mundo nanométrico de materiais biocompósitos não para aí. Mitra (2014, p. 253) aponta que já vem sendo explorados - alguns ainda em fases de melhorias - outras tipologias deste mundo. De acordo com suas pesquisas, existem os nanocompósitos à base de quitosana: um derivado parcialmente desacetilado da quitina, que é o segundo biopolímero natural mais abundante seguido da celulose. A quitosana é biodegradável, não tóxica e prontamente biocompatível. A autora aponta ainda, dentre diversos outros, os nanocompósitos à base de proteínas: existem buscas mais a fundo da proteína de soja composta com silicato em camadas de materiais argilosos, que têm sido usados para melhorar as suas propriedades.

Este é um vasto caminho de opções que poderia ser criada teses e mais teses de pesquisas. Exemplificando outros biomateriais com potencial de impressão tridimensional, mas que dessa vez também já estão disponíveis no mercado, existem empresas estrangeiras, como a ColorFabb, que vem trazendo filamentos a partir de compósitos baseados em PLA e fibras de madeira reciclável na proporção de 70/30, respectivamente (Colorfabbb, 2019). Esta mesma empresa também já tem comercializado um tipo de filamento baseado em madeira, composto por uma mistura entre cortiça e PLA, denominado Corkfill (3Dprinting, 2017).

Dentre uma gama de matérias, até mesmo os materiais cerâmicos - que tem uma grande aceitação de mercado - têm surgido como uma resposta de materiais compósitos com potencial de impressão tridimensional. Esse fato se tornou realidade quando na empresa italiana WASP (*World's Advanced Saving Project*),



Massimo Moretti, resolveu investir na impressão desse material cerâmico que são concebidos da mistura de materiais primários, que incluem: argila, terra, areia, cimento, cal, fibras vegetais e aglutinantes. Ainda com limitações eminentes, isso já demonstra o potencial que a impressão 3D tem conseguido alcançar (3DWASP, 2019).

Vale falar e exemplificar estes materiais porque começam a gerar interesses de novas buscas e fomentar a vontade de buscar testar o modelo desenvolvido do sólido celular com novos materiais, materiais mais promissores. É da ecologia de material que surge um reflexo e um questionamento de como as questões materiais possam ser uma virada de melhoria para os sistemas naturais quanto ao reaproveitamento e ecologia do meio ambiente, resguardando ainda as possibilidades da arquitetura e o design impactarem de maneira menos negativa o meio ambiente.

Por mais que esse interesse em conhecer e experimentar novas materialidades seja um fator que prospera a vontade, para o desenvolvimento da etapa a seguir, devido aos recursos disponíveis, a materialidade da impressão 3D deste trabalho foi voltada ao uso do ABS no sólido celular SH.ARCH. Definir este ponto dentro da nossa realidade de laboratório acaba por influenciar totalmente na fase de análise de tensões consequentes.





TESTE DE DEFORMAÇÃO: A TENSÃO

Durante o decorrer deste trabalho, já foi bem explícito e lembrado que a rigidez é um dos fatores importantes quando se fala dos sólidos celulares. Também já foi explícita a questão de como os testes são importantes para os desenvolvimentos de design, desde a prototipagem até os níveis construtivos.

Após o desenvolvimento dos códigos paramétricos, seu rearranjo e as discussões que envolvem a impressão 3D - embarcando também em questões de materialidades -, a fim de dar continuidade no processo de design e gerar uma fomentação analítica melhor estruturada, o sólido celular SH.ARCH foi testado quanto ao seu desempenho relacionado a solidez e a aplicação de forças de tensão de compressão nos módulos.

Este teste, devido à duração de tempo que o projeto de graduação deve ser desenvolvido, acabou sendo optado por trabalhar com análises de reprodução gráfica através da computação. Em uma pesquisa mais a fundo sobre os melhores *softwares* que poderiam abrigar este projeto, foi descoberto um outro *plugin* do *Rhinoceros*, chamado *Scan & Solve*. De acordo com o site do próprio sistema - *scan-and-solve.com* -, este programa foi desenvolvido pela empresa *Intact Solutions*.

O *Scan & Solve* para *Rhino* automatiza completamente a simulação estrutural básica de sólidos. Ao contrário de outras ferramentas de análise,



nenhum pré-processamento (*meshing, simplification, healing, translate, etc.*) é necessário. O *plugin* oferece simplicidade, automação e robustez. Ele permite a simulação estrutural de qualquer geometria sólida (polissuperfícies, extrusões ou malhas) dentro do Rhino. Hoje, este sistema está disponível como uma licença anual para usuários comerciais e acadêmicos, mas possui uma licença de teste que dura sete dias corridos para ser utilizada.

A interface do *plugin* funciona da seguinte maneira: ao dar o comando para dar início o seu uso, é aberta uma janela que requer algumas informações para seu funcionamento, como mostra na [imagem 39](#).



IMAGEM 39: INTERFACE INICIAL DO PLUGIN SCAN AND SOLVE PARA RHINOCEROS.



Fonte:
Acervo própria.

O primeiro passo foi selecionar o sólido celular em estudo como *input* inicial. Ao adicioná-lo como referência, fica determinada a informação de que o sólido selecionado virá a ser testado. Feito isso, é necessário fornecer informações ao programa **quanto às faces que tocam a base**, sendo estas, selecionadas. A partir deste passo, torna-se habilitada a função de seleção do material que este sólido será feito/testado (imagem 40). O próprio plugin já dá uma gama de materiais pré-configurados, que vão desde materiais complexos - incluindo madeira, compósitos e outros materiais anisotrópicos -



até a possibilidade de você mesmo configurar algum tipo novo de material. Como a maior parte desta pesquisa foi impressa em ABS, o material escolhido para a simulação teste foi este material copolímero.

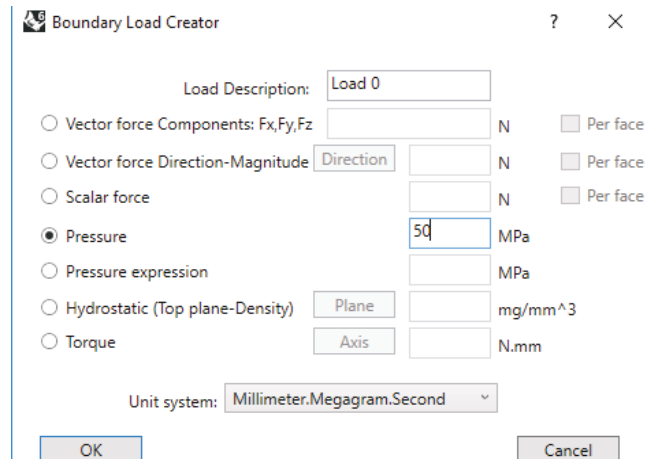
IMAGEM 40: JANELA DO PLUGIN SCAN AND SOLVE DE ESCOLHA DE MATERIAIS.

Description	Failure	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (Pa)	Poisson Ratio	Yield Strength (Pa)	Tensile Strength (Pa)	Compressive Strength (Pa)
ABS	VonMises	1040	2.40E+009	0.35	4.48E+007	0.00E+000	0.00E+000
Acetal Copolymer	VonMises	1400	2.60E+009	0.35	6.00E+007	0.00E+000	0.00E+000
Acetal Homopolymer	VonMises	1420	3.10E+009	0.35	7.60E+007	0.00E+000	0.00E+000
Acrylic, Cast	VonMises	1190	3.80E+009	0.35	6.00E+007	0.00E+000	0.00E+000
Acrylic, General Purpose, Molded	VonMises	1190	2.20E+009	0.35	7.50E+007	0.00E+000	0.00E+000
Acrylic, Glass Fiber Reinforced	VonMises	1260	3.90E+009	0.35	1.10E+008	0.00E+000	0.00E+000
Acrylic, Medium High Impact	VonMises	1200	2.40E+009	0.35	2.07E+008	0.00E+000	0.00E+000
Alloy 49 Iron-Nickel High Formability	VonMises	8180	1.68E+011	0.3	5.52E+008	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 1020-O	VonMises	2700	6.90E+010	0.33	2.80E+007	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 1060	VonMises	2700	6.90E+010	0.33	7.58E+007	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 2014	VonMises	2800	7.30E+010	0.33	4.14E+008	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 2018	VonMises	2800	7.40E+010	0.33	5.17E+008	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 2024	VonMises	2800	7.20E+010	0.33	7.58E+007	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 2024-T3	VonMises	2770	7.31E+010	0.33	3.45E+008	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 2025-H18	VonMises	2750	6.90E+010	0.33	7.12E+007	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 2025-O	VonMises	2750	6.90E+010	0.33	4.14E+007	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 4032-T6	VonMises	2680	7.90E+010	0.34	3.17E+008	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 5050-O	VonMises	2690	6.90E+010	0.33	5.52E+007	0.00E+000	0.00E+000
Aluminum 6061	VonMises	2700	6.90E+010	0.33	5.52E+007	0.00E+000	0.00E+000

Fonte: Acervo Próprio.

Com estas informações já pré-determinadas, é necessário selecionar as faces que irão receber os primeiros contatos das cargas de tensão. Assim, é habilitada uma nova função (imagem 41), que possibilita a escolha de qual tipo de teste será aplicado e, por conseguinte, a potência das cargas que serão aplicadas ao módulo.

IMAGEM 41: JANELA DO PLUGIN SCAN AND SOLVE DE ESCOLHA DE FORÇAS.



Fonte: Acervo Próprio.

Nesta etapa, para iniciar os testes de rigidez do sólido celular SH.ARCH, foi escolhido o teste “*pression*”, em português: pressão/compressão. Atualmente, a resistência característica à compressão no Brasil é medida em megapascal (MPa). Basicamente, esta unidade é a representação de uma medida de força dividida por uma unidade de área. Antigamente, essa unidade de pressão no Sistema Internacional era dada pelo quilograma-força por centímetro quadrado (Kgf/cm²), mas o megapascal (MPa) acabou por substituir a unidade anterior. Para efeito comparativo, 100 Kgf/cm² é igual a 10 MPa (Pinheiro et al., 2010, p. 3).

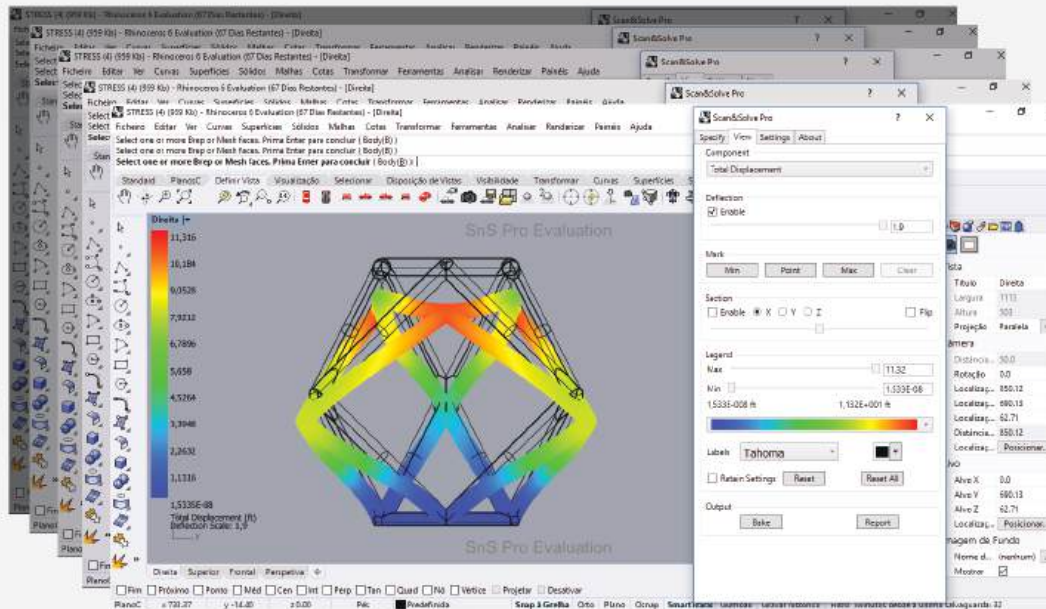


Pegando o concreto convencional como base para escolha do valor da força que será aplicada como teste, hoje em dia a resistência a compressão deste material varia de 10 até 40 MPa (100 kgf/cm^2 até 400 kgf/cm^2), podendo chegar a uma resistência de 100 MPa quando são adicionados aditivos na massa de concreto (Pinheiro et al., 2010, p. 3). Pegando um valor médio, afim de levar o módulo ao limite, para o teste do sólido celular SH.AR-CH, optou-se aplicar ao sólido uma força de 50MPa (50 kgf/cm^2).

Após estas escolhas, o programa começará a processar todas as informações de input e irá gerar os resultados, como na imagem 42.



IMAGEM 42: RESULTADO DO PLUGIN SCANANDSOLVE APÓS LEITURA DE DADOS.

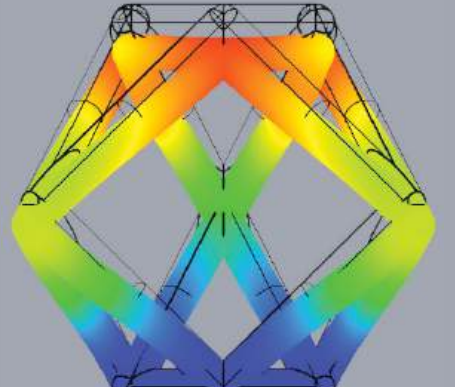
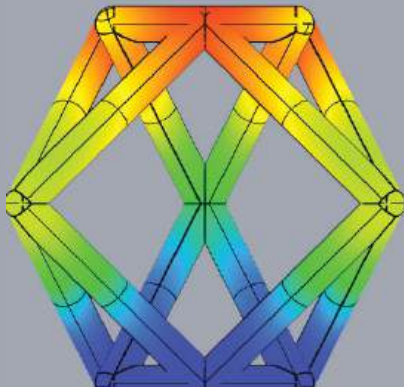
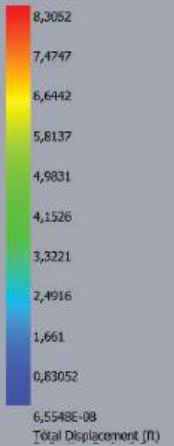
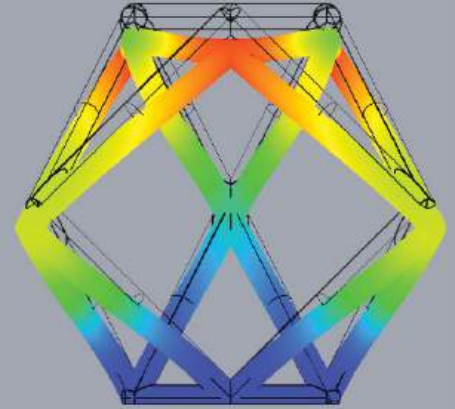
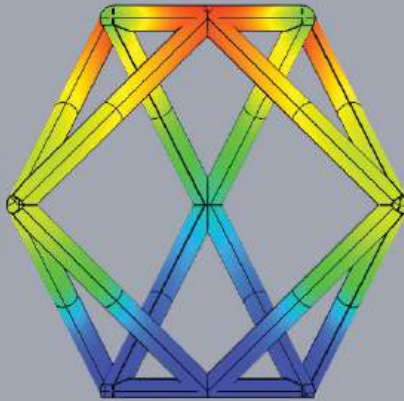
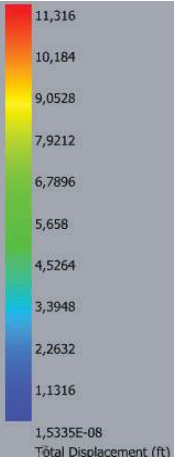
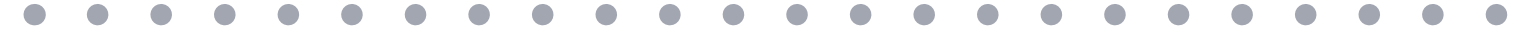
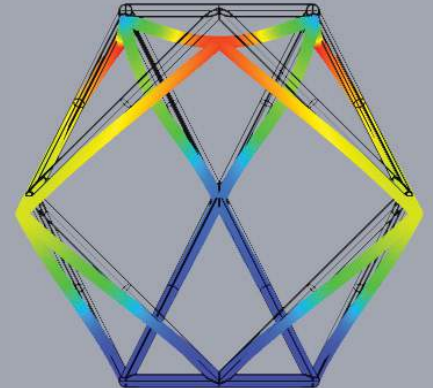
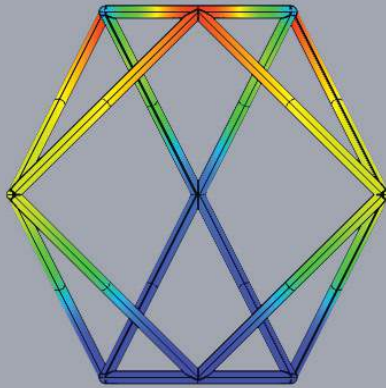
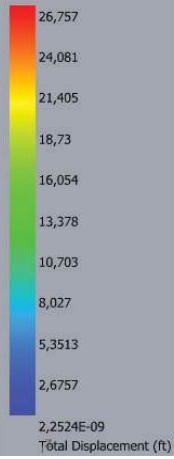


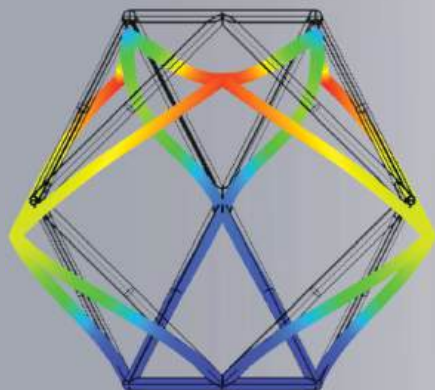
Fonte: Acervo Próprio.



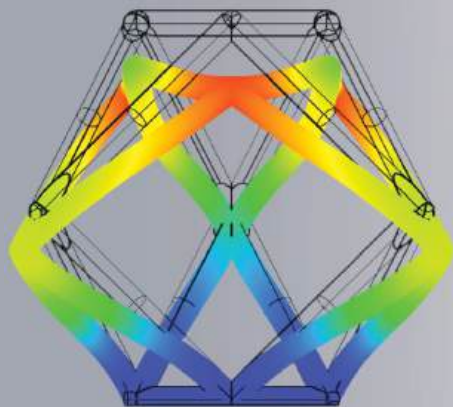
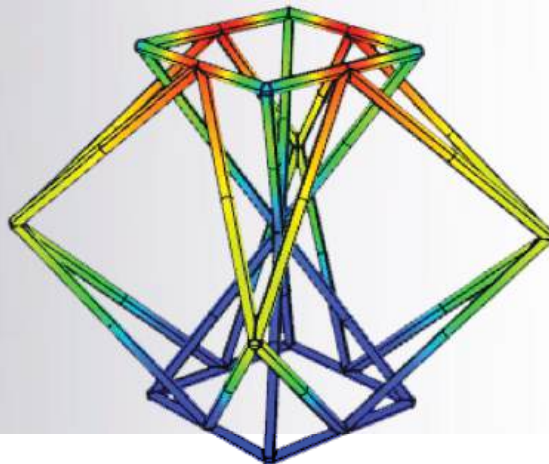
Pensando na aplicação do sólido celular em diferentes pontos de um projeto arquitetônico, o *plugin Scan and Solve* gerou resultados que mostram a necessidade de alguns ajustes de design, pois o sólido celular apresenta pontos críticos de rompimento. Como a programação dos códigos vindas do *Grasshopper* foi criada para gerar maiores análises quanto aos testes de impressão e de usos dos materiais, uma maneira de amplificar a etapa de testes de tensão, houve uma redefinição das espessuras das arestas do sólido celular e foram aplicados os mesmos testes da imagem 42 em espessuras diferentes. Essa redefinição foi pensando em não demandar novos desenhos e encontrar uma forma de solução a partir da programação existente.

Considerando uma proporção de espessura/largura do sólido respectivamente, foram delimitadas cinco espessuras diferentes: (a) 2/120 mm, (b) 4/120 mm, (c) 6/120 mm, (d) 8/120 mm e (e) 10/120 mm. Os resultados são possíveis de visualização na próxima imagem (imagem 43).

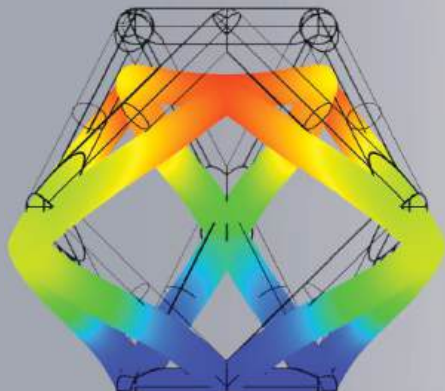
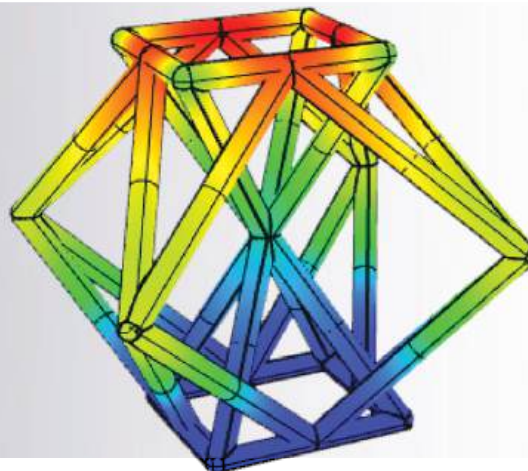




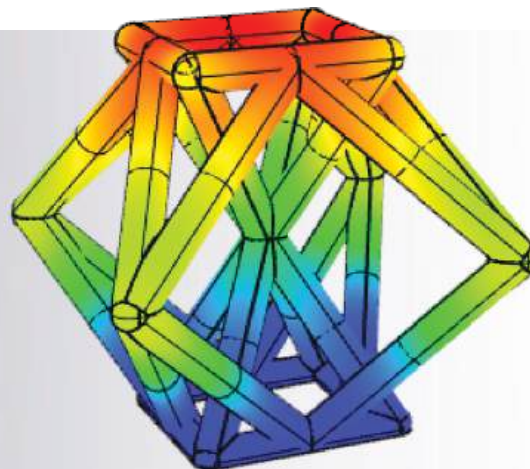
Deflection Scale: 0,8

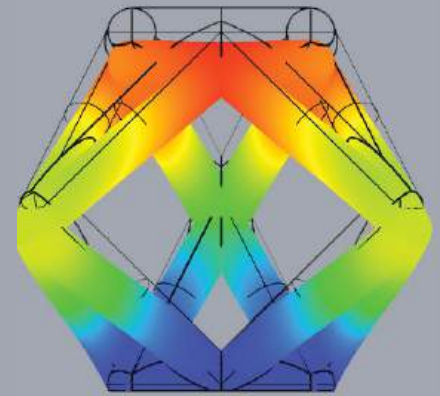
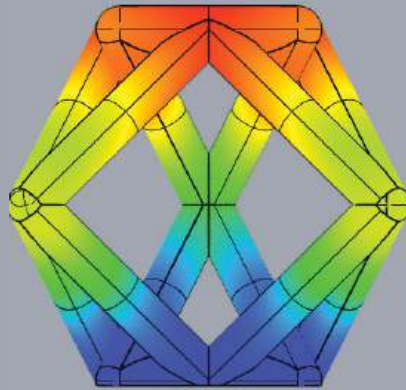
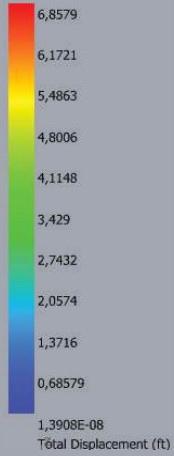


Deflection Scale: 1,9

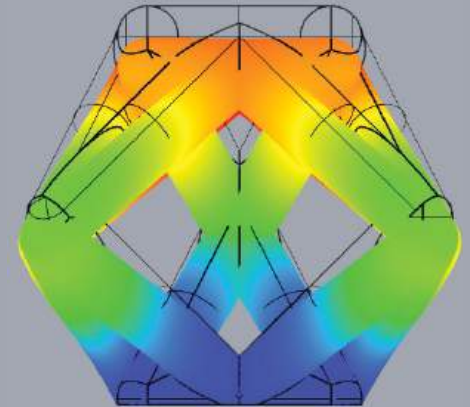
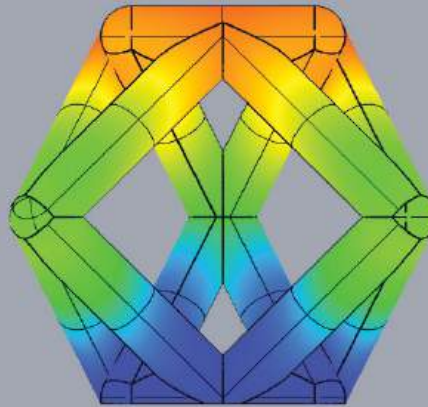
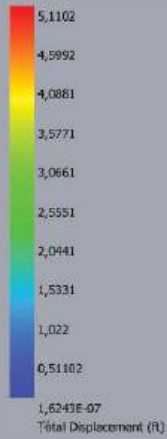


Deflection Scale: 2,7

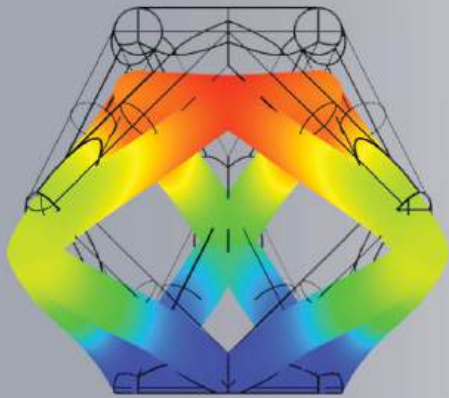




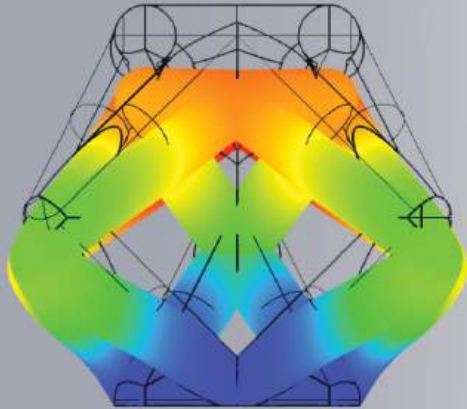
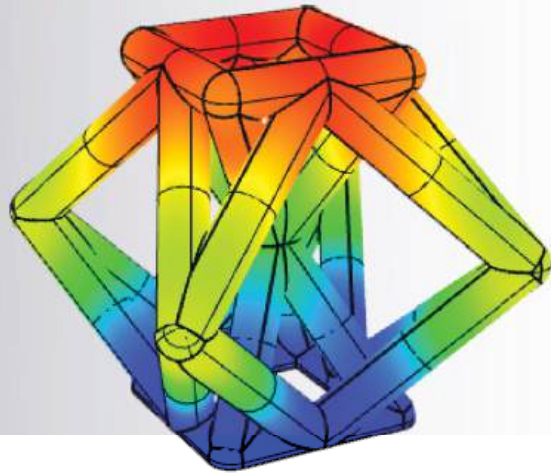
Deflection Scale: 1,7



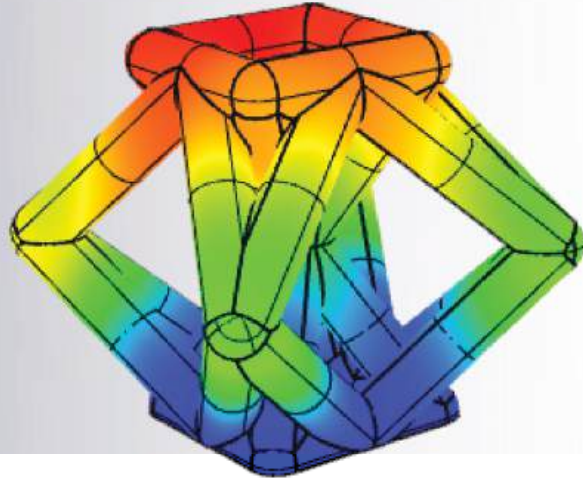
Deflection Scale: 2,4



Deflection Scale: 3,4



Deflection Scale: 4,7





Em uma análise global é possível perceber que, por mais que as espessuras mudem, a variação das escalas tonais não sofrem grandes alterações de um sólido celular para o outro – já que a geometria é a mesma: as áreas azuis se mantêm estáveis em baixo e as áreas superiores são tons mais alaranjados e avermelhados.

Entretanto, ainda há uma pequena variância em relação a tais tons. De acordo com que as espessuras variam de 2mm para 10mm, respectivamente, é perceptível que os tons avermelhados (áreas de maior influência de cargas) começam a diminuir e passam a ser apenas alaranjadas.

Passível de compreensão, isso se deve a uma maior distribuição das forças de tensão quando o sólido celular é mais espesso: quando a espessura aumenta, as arestas se apresentam mais rígidas e há uma maior área de contato entre a aresta e as forças. Esta distribuição que ocorre, acaba gerando uma unidade de deformação, fazendo com que o sólido celular deixe de deformar pontualmente e passe a deformar de **maneira homogenia** – todo o sólido se deforma.

Como próprio *Scan & Solve* mede o grau em que um elemento estrutural é deslocado sob uma carga analisando a estrutura como um todo, no gráfico 1 é possível perceber melhor como que essa deformação se comporta, dada pelo “*deflection scale*” (em português escala de deflexão). A partir do gráfico fica nítido que, por mais que haja uma homogeneidade de deslocamento com aumento das espessuras, os valores dessa deformação aumentam de maneira contínua, acompanhando também o



aumento das espessuras. De acordo com Cavalheiro (2009, p. 8), um dos fatores que podem ter influenciado nisso é que cada pequena porção de matéria tem o seu próprio peso. Além da carga que age sobre sólido celular, o peso próprio da estrutura aumentou.

GRÁFICO 1: ESPESSURA X ESCALA DE DEFLEXÃO.



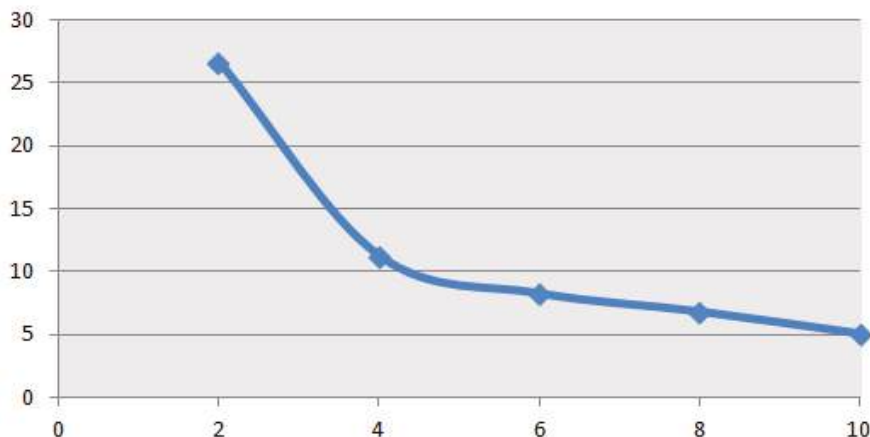
Fonte: Autoria própria.



Pensando em analisar melhor estas deformações, foi desenvolvido um segundo gráfico para a leitura dos dados, que aponta agora a relação das espessuras com o “*total displacement*”, ou deslocamento total, que mede o deslocamento máximo dos pontos mais críticos (gráfico 2).

GRÁFICO 2: CURVA DE DESLOCAMENTO TOTAL.

ESPESSURA x DESLOCAMENTO



Fonte: Autoria própria.



De acordo com o gráfico de espessura x deslocamento total, é iminente que, quanto maior a espessura adotada, menor o “*total displacement*”, fazendo que as arestas do sólido celular se deformem menos, sendo que estas deformações ocorrem em apenas alguns pontos críticos (imagem 44). Entretanto, por mais que a curva do gráfico caia no decorrer do aumento das espessuras, esta curva deixa de ser acentuada e passa a gerar resultados mais lineares.

Quando a espessura passou da proporção de 2mm (dois) para 4mm (quatro), a curva caiu drasticamente, sendo que o nível de deslocamento caiu para mais da metade. Em uma correlação do gráfico com as imagens geradas pelo *plugin*, percebe-se ainda que nesta variação de 2mm (dois) para 4mm (quatro), ainda ocorre concentração de forças em pontos críticos.

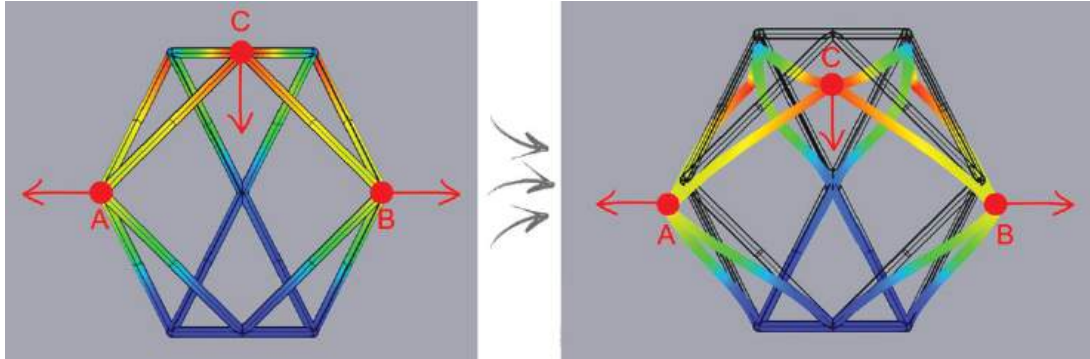
A partir da proporção de 4mm (quatro) em diante, com o aumento das espessuras numa escala de variação de 2 para 2, a variância de deslocamento se altera pouco. Por mais que diminua os valores, os níveis que ocorrem começam a se tornarem mínimos. Das proporções de espessura de 6mm (seis) para 10mm (dez), as forças não se acumulam em pontos únicos de maior fragilidade como ocorria na espessura de 2/120mm, elas acabam se distribuindo de maneira mais uniforme pela geometria do sólido celular.

Destas correlações, cabe aqui então entender que, quando as espessuras aumentam, o deslocamento da geometria dos sólidos celulares como um todo também aumenta,



mas a deformação das arestas se torna menor. Como o objetivo principal destes testes foi tentar entender como criar um sólido com o máximo de resistência e o mínimo de material possível, vale ressaltar que muitas das vezes não será necessário criar sólidos celulares tão espessos pensando em sua resistência, porque sua performance está fadada a uma deformação não muito diferente de sólidos com espessuras um pouco mais finas. Levando em consideração esse fator, a questão da escolha das espessuras toca também nos pontos de permeabilidade quanto à ventilação – quanto mais grossas as arestas dos sólidos, menos permeáveis se tornam as estruturas – e também no desperdício de materiais – quanto mais grossas, mais material é utilizado para sua produção.

As análises desenvolvidas até esta fase foram pensadas quanto ao sólido celular de maneira única - sobre um único módulo. Por este fato, talvez seja possível perceber que ao aplicar a força de tensão sobre o sólido SH.ARCH, as aletas laterais sofrem com deformações limites e por isso acabam por forçar outros pontos da estrutura do sólido, como é possível ver na imagem 44. Ao aplicar as forças de tensão, os pontos A e B, isso acaba por influenciar na deformação do ponto C.

**IMAGEM 44: PONTOS CRÍTICOS DE DEFORMAÇÃO.**

Fonte: Autoria própria.

As questões dos pontos críticos esta ligada ao fato das análises ocorrerem apenas com os sólidos celulares como módulos isolados. Nas programações dos códigos paramétricos finais, em que há uma replicação dos sólidos onde as aletas se encostam e estruturam umas as outras, é possível pensar que seja uma possibilidade de atenuar a questão das cargas concentradas. Para isso, o mesmo teste de tensões foi que executado nos sólidos isolados, foi feito na programação do fragmento de vedação, mas agora, para avaliar um grau estrutural maior (imagem 45).

IMAGEM

45:

TESTE

DE

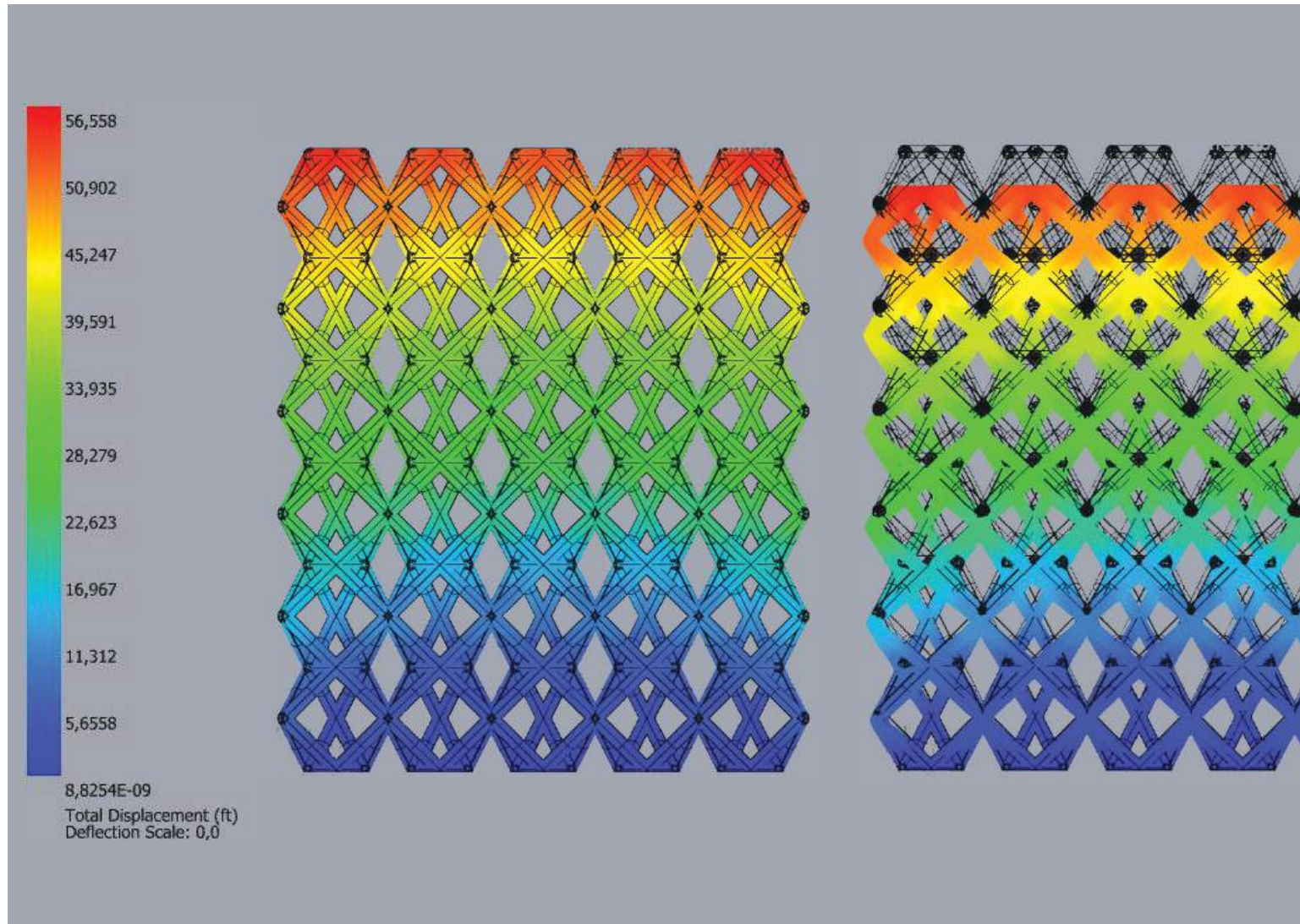
TENSÕES

NO

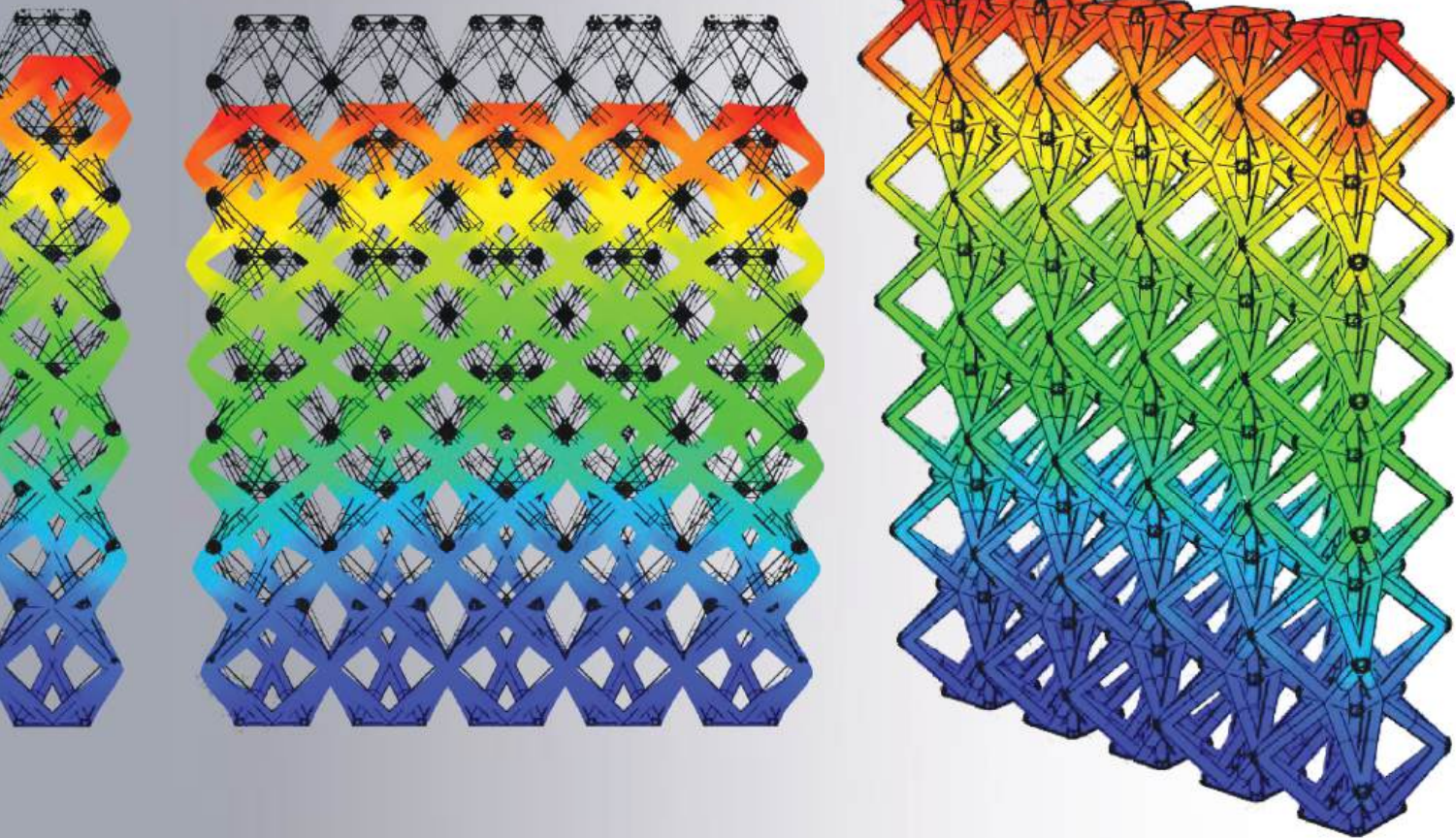
FRAGMENTO

DE

VEDAÇÃO.



Fonte: Acervo próprio.





O mesmo fato que ocorre nos sólidos isolados também ocorre no fragmento de vedação, em que às estruturas piramidais da base inferior geram maior rigidez e as estruturas superiores sofrem com as maiores ações das forças de tensão – de novo, a geometria do sólido não se altera. Apesar disso, uma diferenciação ao que ocorreu antes foi que o nível de deformação aumentou e citando Cavalheiro (2009, p. 8) mais uma vez, o peso próprio da estrutura enquanto fragmento de vedação aumentou em uma escala de um sólido para trinta sólidos unidos, influenciando totalmente na sua escala de deflexão e no deslocamento total.

Com relação a isso, é possível ver que toda a estrutura se deforma de maneira homogênea, não gerando assim pontos críticos de cargas concentradas, mas uma pele arquitetônica que redistribui por todos os sólidos celulares as cargas provenientes da tensão, gerando uma conjuntura de equilíbrio.

Contudo, estas análises ocorreram em fases de computação e para serem levadas ao meio construtivo, dependeriam também de muitos outros testes, incluindo testes físicos. Isso também propõe que deve ser levado em conta o material que o sólido celular será fabricado, pois influenciará diretamente em testes de forças. Além disso, a compreensão maior é que sempre se fará necessário encontrar uma constância e uma concordância de acordo com o uso dado ao sólido celular, sua realidade exposta e o seu local de aplicação, pois são seus fatores de composição: espessura, materiais, permeabilidade, rigidez, dentre outros, que farão que ele seja uma melhor opção de aplicação.





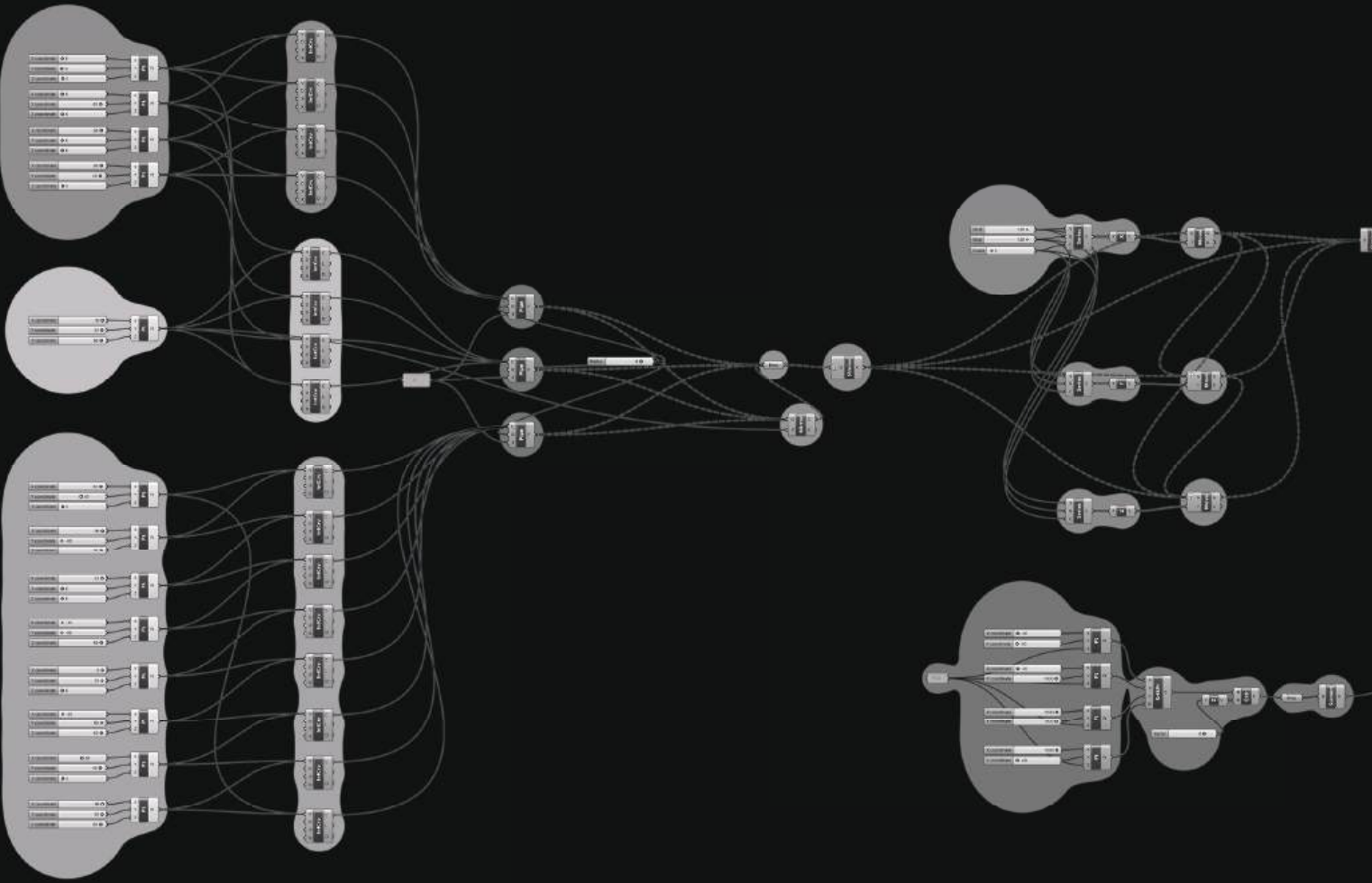
INSIGHTS

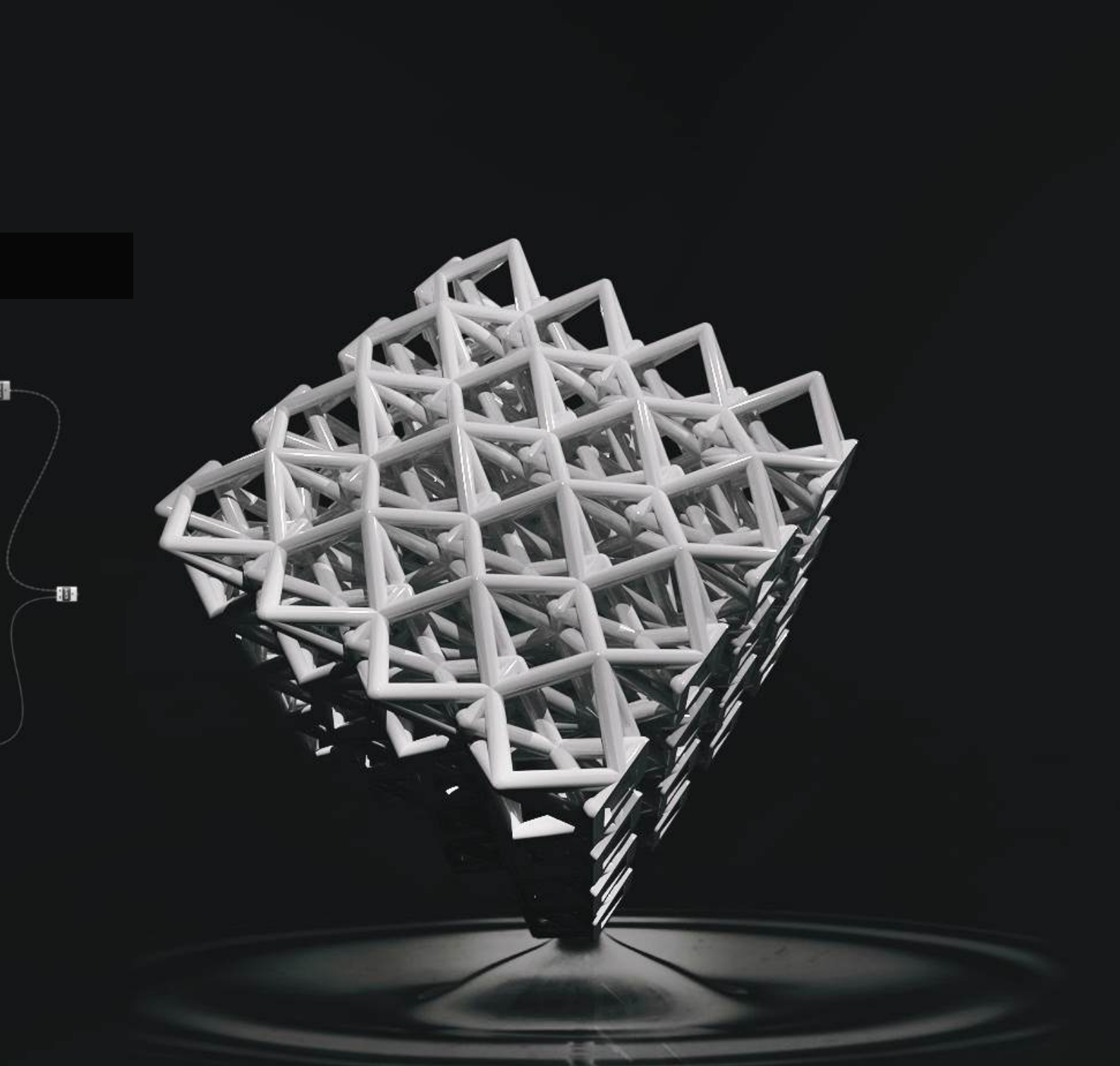


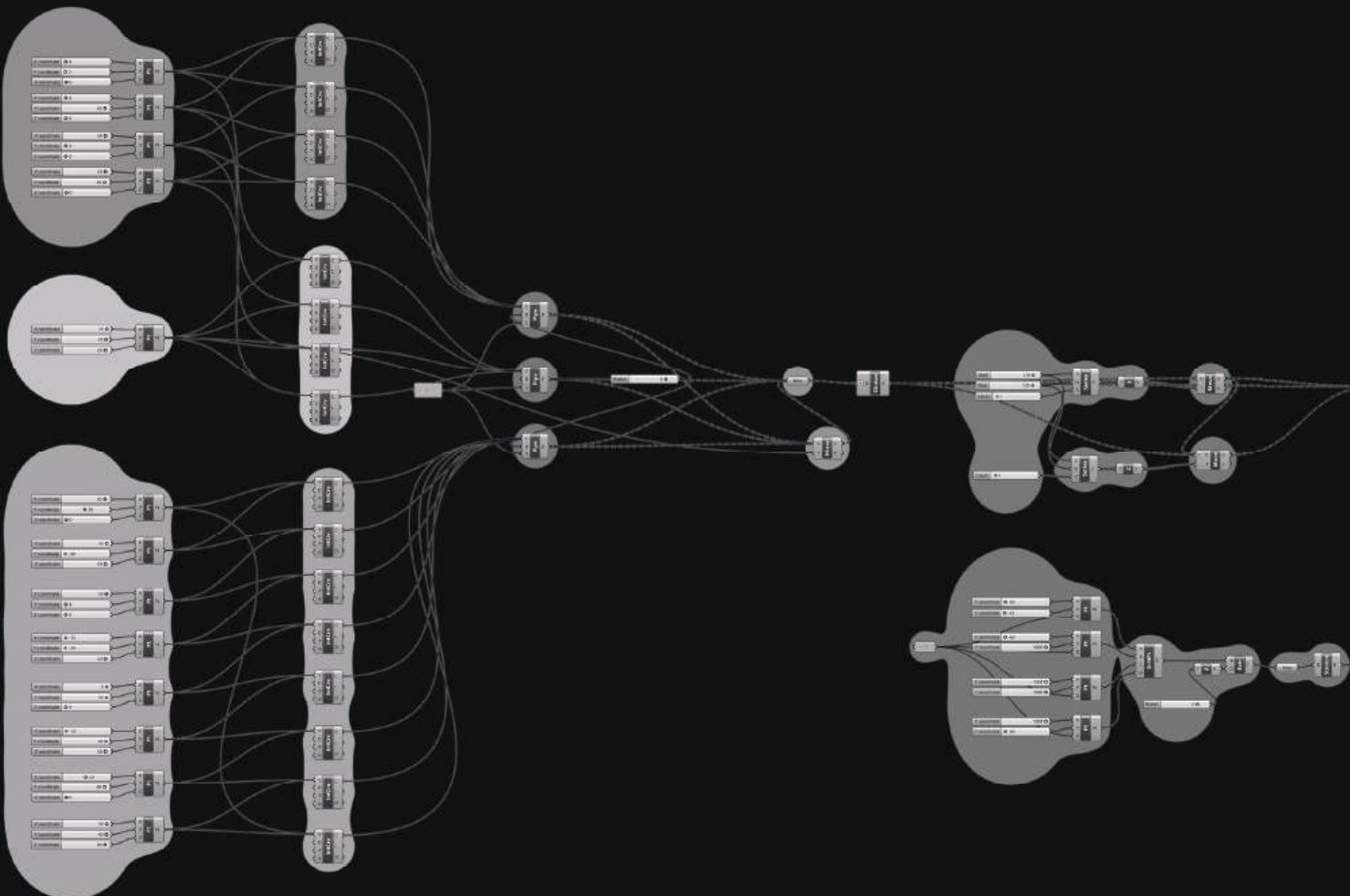


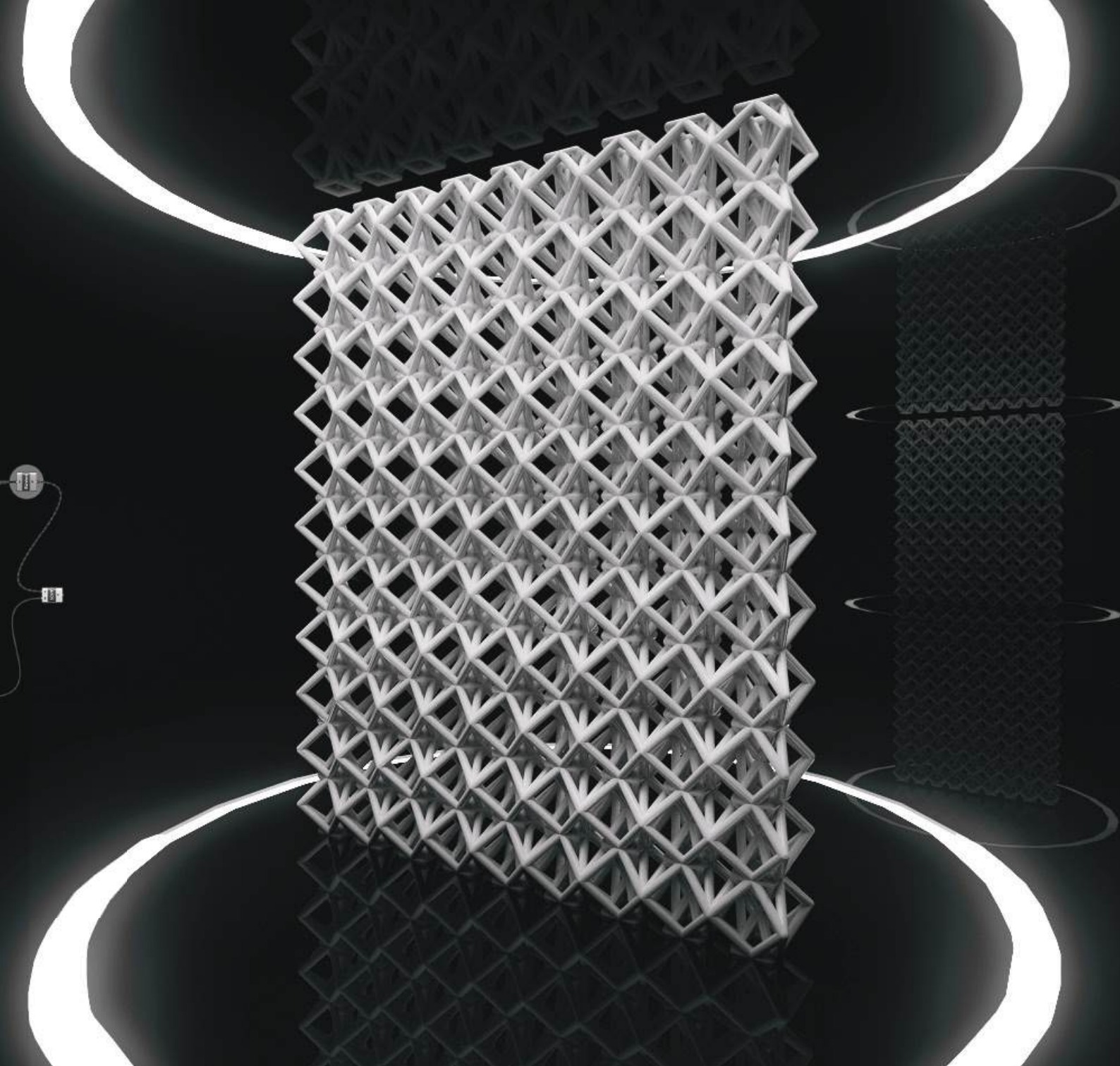


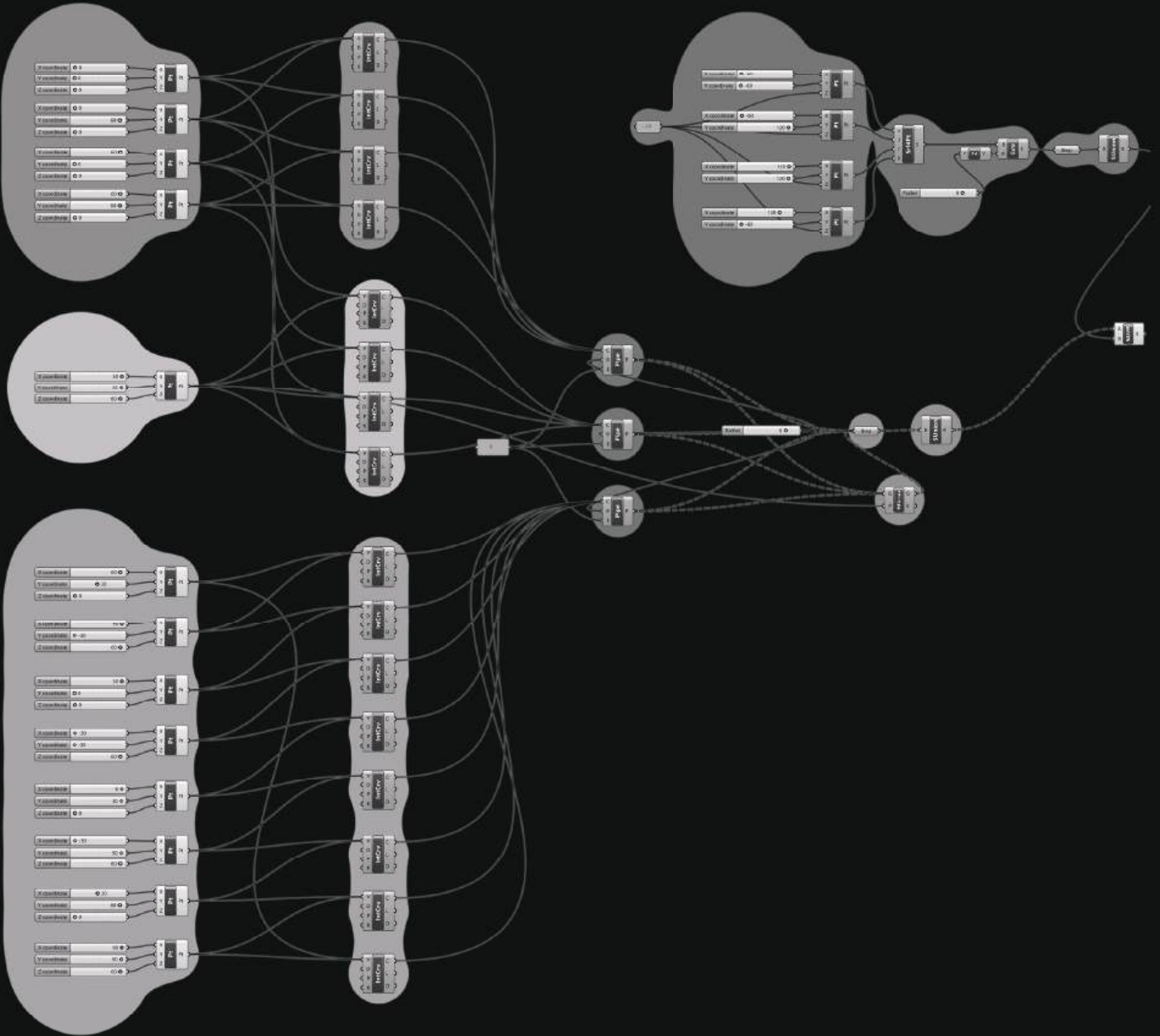


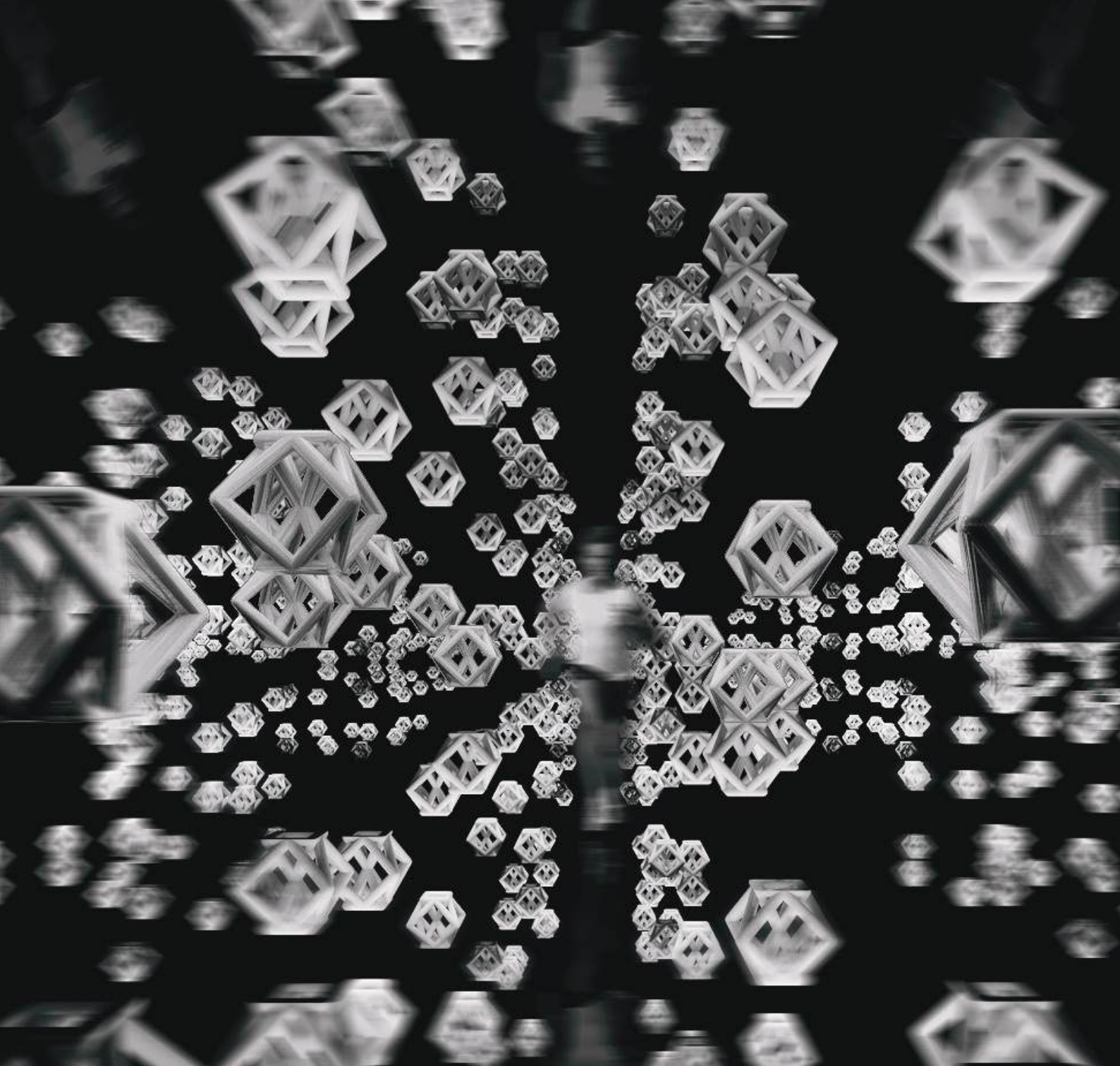














Xx Xy XX YY Xx Xy XX
YY Xx Xy XX YY Xx
Xy XX YY Xx Xy XX
YY Xx Xy XX YY Xx
Xy XX YY Xx Xy XX
YY Xx Xy XX YY Xx Xy
XX YY Xx Xy XX YY

**CONSIDERAÇÕES FINAIS
E PASSOS FUTUROS**



Chegar até aqui foi o primeiro passo do que pode vir a se tornar uma longa caminhada. Este trabalho de conclusão de curso foi um contato inicial quanto aos sólidos celulares, temática que demanda níveis de pesquisa mais aprofundados e testados - principalmente quando o assunto é alavancado pela biomimética, pela parametria e pela impressão tridimensional. Quanto mais refletimos e adentramos neste eixo da arquitetura, mais entendemos que a natureza novamente se mostra apta e certa numa correlação do que foi definido como “tradução”, cabendo aos profissionais de respectivas áreas de atuação, entender as relações naturais.

Destas relações, o sólido celular SH.ARCH se mostrou, dentre vantagens e desvantagens, um sólido com alto potencial de performance. Por mais que estes tipos de estruturas pareçam pequenos ao olhar,

o nível de complexidade, aptidão e aplicabilidade que eles carregam é algo relativamente significativo - principalmente com o poder que eles podem influenciar na arquitetura e no seu campo construtivo.

Para que estes sólidos estejam em plena condição de aplicação, eles precisam ter uma ponderação interligada à **matéria, a forma e a função**: que são grandes pilares da arquitetura. Além de tudo, eles ainda permeiam por campos de discussão quanto à tecnologia, pesquisa e extensão e principalmente, em questões sustentáveis - algo que precisamos cada vez mais evoluir. Para criar um eixo de análise, vamos seguir o caminho do sólido celular como **matéria, forma e função**.



.MATÉRIA. Esta é uma área que o projeto SH.ARCH pode avançar em larga escala, já que existe uma gama de possibilidades. 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 (Rocha & Venancio, 2017, p. 1757).

Devido aos recursos disponíveis, as estruturas celulares foram impressas em sua maioria no material ABS, que ainda não vem a ser a melhor das opções, ecologicamente falando, apesar de ter sido de grande valia quanto ao processo de prototipagem. Buscar novas fontes de

materialidade ou até mesmo produzir algo novo pode ser mais um ponto a se pensar na continuação deste projeto.

Neste quesito, abre-se também o discurso sobre os sólidos celulares quanto sua aplicação. De acordo com o trabalho de Naboni (2017), os sólidos celulares fabricados pela impressão 3D – sendo os protótipos em sua maioria concebidos em PLA – produzem um conceito de desempenho alto quanto às cargas-responsivas em um sistema de vedação celular e destaca ainda a propriedade interessante em termos de relação ao peso/área das estruturas, que quando comparadas com os sistemas tradicionais de peles arquitetônicas, há uma considerável redução de massa (tabela 2).



TABELA 2: RELAÇÃO ENTRE PESO E ÁREA DE SISTEMAS TÍPICOS DE PELES ARQUITETÔNICAS

SISTEMA CONSTRUTIVO DE VEDAÇÃO	ALVENARIA REBOCADA	PAREDE CORTINA DE VIDRO	CONSTRUÇÕES COM ESTRUTURA EM MADEIRA	CONCRETO LEVE	VEDAÇÃO CELULAR
RELAÇÃO PESO/ÁREA (Kg/M ²)	339	68	73	268	11

Fonte: NABONI, 2017. Tradução nossa.

Daí se formula a questão da relevância de se conhecer as propriedades dos materiais na arquitetura. Por mais que levar estes conceitos da teoria para a prática envolva aspectos relacionados a valores, histórico cultural de uso, escala de fabricação ou pessoas que executem, o discurso se finda na base da importância de apenas utilizá-los de forma corriqueira, mas de entender que existem novos caminhos sendo percorridos e que carregam consigo potencialidades antes não experimentadas.



.FORMA. Interligada a existência da materialidade, está a forma. Em referência ao trabalho do sólido celular desenvolvido até aqui, também existem novos paradigmas:

“A característica de regularidade no tamanho, forma e repetição da célula não são comuns na natureza: não são uniformes em todo o espécime natural. É o homem que, por meio de múltiplos processos, dá regularidade às peças ou estruturas dos sólidos celulares.”

(CHERRÉZ, 2018, p. 13)

Quando foram executados os testes de tensão nos sólidos celulares, variar as espessuras foi uma das opções selecionadas para tentar resolver algumas desvantagens sem necessitar que houvessem novos desenhos da geometria. Pensando nisso aliado a fala de Cherrèz (2018, p. 13),

novos desenhos poderiam ser propostos no futuro, sejam eles algo que avancem no sentido de fazer com que as arestas dos sólidos celulares sejam mais espessas nas áreas de maior tensão, ou que as arestas sejam de tamanhos diferentes, ou ainda que existam novos apoios de suporte entre suas aletas, mas enfim, um reestudo de suas geometrias (sempre destacando sua natureza base biomimética (imagem 46).

**IMAGEM****46:****POSSIBILIDADES****GEOMÉTRICAS.**

Fonte: Autoria própria.

.FUNÇÃO. Até aqui, a forma e a materialidade estavam totalmente interligadas quando a sua função, relacionadas ao uso em vedações arquitetônicas. Sobre isso, um passo a se desenvolver é relacionada a novas programações de peles arquitetônicas que permitam a liberdade estética,



Contudo, quando olhamos para o sólido celular SH.ARCH, nossa mente começa a ir além quanto as funções que podem ser desempenhadas a partir dele, não precisando estar restrita quanto a uma vedação, mas podendo caminhar para outras variadas áreas desde a engenharia até a moda. Pensando nisso, o intuito daqui para frente é criar workshops de experimentação e ideação, para que o pensamento se expanda de uma cabeça para várias outras, testando a criatividade e levar ao máximo de limite a função que este projeto possa desempenhar.

Isso floresce então novas ideias que assumem também novos testes, novos materiais, novas tecnologias e principalmente, novas pesquisas. Então não paramos por aqui. Existe uma longa distância ainda entre as todas as aplicações - ainda mais quando a impressão tridimensional está começando a ganhar espaço -

até às devidas execuções. Como disse no início do trabalho e parafraseando Zaha Haddid: “eu realmente acredito na ideia do futuro!”.

LISTA DE IMAGENS

IMAGEM 1: TRANSFORMAÇÃO DO CÍRCULO – METÁFORA DA LIQUIDEZ	[29]
IMAGEM 2: COEXISTÊNCIA DA METÁFORA DA LIQUIDEZ E DA METÁFORA DA GASEIFICAÇÃO	[30]
IMAGEM 3: DIAGRAMA DAS METÁFORAS	[31]
IMAGEM 4: DIFERENTES SISTEMAS QUE COMPÕEM A ANATOMIA HUMANA.	[80]
IMAGEM 5: ESTRATIFICAÇÃO DA PELE HUMANA.	[83]
IMAGEM 6: ESTRATIFICAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL DE VEDAÇÃO VERTICAL EM ALVENARIA.	[85]
IMAGEM 7: FOTOGRAFIA 1 DE FACHADA, POR JARED LIM.	[87]
IMAGEM 8: FOTOGRAFIA 2 DE FACHADA, POR JARED LIM.	[88]
IMAGEM 9: FOTOGRAFIA 3 DE FACHADA, POR JARED LIM.	[89]
IMAGEM 10: FOTOGRAFIA 4 DE FACHADA, POR JARED LIM.	[90]
IMAGEM 11: TIPOS DE ESCAMAS.	[91]
IMAGEM 12: COLAGEM COMPARATIVA ENTRE A OBRA CASA DANÇANTE, DE FRANK GHERY (CONSTRUÇÃO ENTRE 1994-1996) E UM CORPO PLENO EM SUA MOVIMENTAÇÃO DA DANÇA DE TANGO.	[94]
IMAGEM 13: COLAGEM COMPARATIVA ENTRE UMA MODELAGEM 3D DE UM PROJETO HIDROSSANITÁRIO E A COMPOSIÇÃO DO SISTEMA CIRCULATÓRIO HUMANO.	[98]
IMAGEM 14: COLAGEM COMPARATIVA DO SISTEMA URINÁRIO	[101]
IMAGEM 15: TRÍPLICE OPERACIONAL: BIOMIMÉTICA, PARAMETRIA E IMPRESSÃO 3D.	[114]
IMAGEM 16: ESPIRAL DO DESIGN BIOMIMÉTICO.	[117]
IMAGEM 17: PRIMEIRA TIPOLOGIA: HONEYCOMBS OU FAVO DE MEL BIDIMENSIONAL.	[132]
IMAGEM 18: SEGUNDA TIPOLOGIA: OPEN-CELLED FOAMS OU ESPONJA COM CÉLULAS ABERTAS TRIDIMENSIONAIS.	[133]
IMAGEM 10: TERCEIRA TIPOLOGIA: CLOSED-CELLED FOAMS OU ESPONJA DE CÉLULAS FECHADAS TRIDIMENSIONAIS.	[134]
IMAGEM 20: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE ETMOPTERUS GRANULOSUS.	[148]
IMAGEM 21: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE ETMOPTERUS SP. B.	[148]
IMAGEM 22: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE ETMOPTERUS VIATOR SP.	[149]
IMAGEM 23: DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO DA ESPÉCIE LAMNA NASUS.	[149]

LISTA DE IMAGENS

IMAGEM 24: TRIANGULAÇÕES NOS DENTÍCULOS DÉRMICOS.	[151]
IMAGEM 25: CROQUIS DE OPÇÕES DOS SÓLIDOS CELULARES INSPIRADOS NOS DENTÍCULOS DÉRMICOS DO TUBARÃO LAMNA NASUS APÓS O MÉTODO DE BRAINSTORM.	[153]
IMAGEM 26: FOTOS DA PRIMEIRA IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL DO PROJETO SH.ARCH.	[156]
IMAGEM 27: CÓDIGO 1.	[158]
IMAGEM 28: RESULTADO TRIDIMENSIONAL DO CÓDIGO 1.	[159]
IMAGEM 29: IMPRESSÃO 3D DO CÓDIGO 1.	[164]
IMAGEM 30: CÓDIGO 2.	[166]
IMAGEM 31: RESULTADO TRIDIMENSIONAL DO CÓDIGO 2.	[167]
IMAGEM 32: CÓDIGO 3.	[169]
IMAGEM 33: CÓDIGO 4.	[176]
IMAGEM 34: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO FRAGMENTO DE PAREDE.	[178]
IMAGEM 35: CÓDIGO 5.	[185]
IMAGEM 36: RENDER E FOTOMONTAGEM 1 DO CÓDIGO 5	[188]
IMAGEM 37: RENDER E FOTOMONTAGEM 2 DO CÓDIGO 5	[189]
IMAGEM 38: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA - TESTE DE PELE ARQUITETÔNICA CURVA	[192]
IMAGEM 39: INTERFACE INICIAL DO PLUGIN SCAN AND SOLVE PARA RHINOCEROS.	[206]
IMAGEM 40: JANELA DO PLUGIN SCAN AND SOLVE DE ESCOLHA DE MATERIAIS.	[207]
IMAGEM 41: JANELA DO PLUGIN SCAN AND SOLVE DE ESCOLHA DE FORÇAS.	[208]
IMAGEM 42: RESULTADO DO PLUGIN SCAN AND SOLVE APÓS LEITURA DE DADOS.	[210]
IMAGEM 43: TESTES DE TENSÃO DE COMPRESSÃO DESENVOLVIDOS EM DIFERENTES ESPESSURAS NO PLUGIN SCAN AND SOLVE.	[212]
IMAGEM 44: PONTOS CRÍTICOS DE DEFORMAÇÃO.	[221]
IMAGEM 45: TESTE DE TENSÕES NO FRAGMENTO DE VEDAÇÃO.	[222]
IMAGEM 46: POSSIBILIDADES GEOMÉTRICAS.	[243]

LISTA DE DETALHES

DETALHE A: PONTOS DA BASE.	.....	[160]
DETALHE B: PONTOS DA PIRÂMIDE.	.....	[161]
DETALHE C: PONTOS DAS ALETAS.	.....	[162]
DETALHE D: CRIAÇÃO DOS TUBOS E UNIÃO DOS SÓLIDOS.	.....	[163]
DETALHE E: ACRÉSCIMO DO COMANDO “MIRROR” NA PROGRAMAÇÃO.	.....	[168]
DETALHE F: CORTE NA BASE DO SÓLIDO CELULAR.	.....	[170]
DETALHE G: REPLICAÇÃO DO SÓLIDO CELULAR	.....	[177]
DETALHE H: CONSTRUÇÃO DA SUPERFÍCIE.	.....	[186]
DETALHE I: ROTAÇÃO DA PEÇA	.....	[191]

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: ESPESSURA X ESCALA DE DEFLEXÃO.	.....	[217]
GRÁFICO 2: CURVA DE DESLOCAMENTO TOTAL.	.....	[218]

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: FONTE GERADORA E COMPONENTES DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (EM %)	.....	[48]
TABELA 2: RELAÇÃO ENTRE PESO E ÁREA DE SISTEMAS TÍPICOS DE PELES ARQUITETÔNICAS	.....	[241]



BIBLIOGRAFIA

- ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. (2016) **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo: **ABRELPE**. ADVFN. PIB - Produto Interno Bruto. Disponível em <<https://br.advfn.com/indicadores/pib>> Acessado em: 29 de agosto de 2018.
- AJDARI, Amin. **Mechanical behavior of cellular structures: a finite element study**. 2008.
- ALTHOFF, Fátima Regina. **Renovação, reconstrução e pastiche-a ânsia de reproduzir a arquitetura do passado no presente**. In: I Seminário Internacional História do Tempo Presente-ISSN 2237 4078. 2014.
- ANDRADE, Max. **Prototipagem Rápida. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. No prelo, 2014.
- ARAUJO, Eliete de Pinho. **Apostila de esgoto sanitário e águas pluviais**. 2016.
- ARRUDA, A. **Como a Biônica e Biomimética se relacionam com as estruturas naturais na busca de um novo modelo de pesquisa projetual**. Grupo de Pesquisa em Bio design e Artefatos Industriais-UFPE (Artigo). 2015.
- ASENSIO, Ana. **Arte e Arquitetura: Exploração Urbana / Jared Lim**. Tradução Romullo Baratto. 30 Junho, 2013. Disponível em <<https://www.archdaily.com.br/br/01-123304/arte-e-arquitetura-exploracao-urbana-slash-jared-lim>> Acessado em: 20 de outubro de 2018.
- AUGUSTIN, Sérgio; ALMEIDA, Ângela. **Da compreensão materialista e dialética das relações ecológicas ao conceito de desenvolvimento sustentável**. Desenvolvimento em Questão, v. 4, n. 7, 2006.



- APPLEGATE, Edith. **Anatomia e fisiologia**. Elsevier Brasil, 2012.
- BARON, CMP., and FRANCISCO, AM. **O processo projetual e os desafios de ensinar a criar espaços**. In: FIORIN, E, LANDIM, PC, and LEOTE, RS., orgs. *Arte-ciência: processos criativos* [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015, pp. 131-153. *Desafios contemporâneos collection*. ISBN 978-85-7983-624-4. Available from SciELO Books .
- BARRETO, Maria Laura et al. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. 2001.
- BARROS, Carlos; PAULINO, Wilson Roberto. **Ciências: o meio ambiente**. Ática, 2006.
- BASTOS, Paulo Sérgio Dos Santos. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO: NOTAS DE AULA**. Universidade Estadual Paulista, Bauru, Agosto de, 2011.
- BAUMAN, Zygmunt. **A sociedade líquida**. Folha de São Paulo, v. 19, p. 4-9, 2003.
- BAUMAN, Zygmunt. **Modernidade Líquida / Zygmunt Bauman; tradução Plínio Dentzien - Rio de Janeiro: Jorge Zahar. Ed., 2001.**
- BAZZO, Walter Antonio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO: ONDE PODEMOS OU QUEREMOS CHEGAR?**. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA COBENGE. Outubro, Blumenau, Santa Catarina. Brasil. 2011.
- BENYUS, Janine M. **Biomimética: Inovação inspirada pela natureza**. 6ª ed. São Paulo: Editora Cultrix, 2011.
- BERGLUND, Lars A.; PEIJS, Ton. **Cellulose biocomposites—from bulk moldings to nanostructured systems**. MRS bulletin, v. 35, n. 3, p. 201-207, 2010.



- BESKO, Marcos, BILYK, Claudio e SIEBEN, Priscila Gritten. **Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. Gestão, tecnologia e Inovação.** Revista eletrônica dos cursos de Engenharia. Gest. Technol. Inov. Vol.01 n.3, 2017
- BOURGEOIS, B. Apresentação na edição francesa da obra de G.W.F. **Hegel, Enciclopédia das Ciências Filosóficas.** I-A Ciência da Lógica, reproduzida sob a forma de apêndice na edição brasileira, p. 421-422. Disponível em <<http://www.funape.org.br/contracorrenteza/parte2.pdf>> Acessado em: 18 de outubro de 2018.
- BUAINAIN, Antônio Márcio; CARVALHO, Sérgio M. **Propriedade intelectual em um mundo globalizado.** Parcerias estratégicas, v. 5, n. 9, p. 145-153, 2010.
- BUCHELE, Gustavo Tomaz et al. **Métodos, técnicas e ferramentas para inovação: Brainstorming no contexto da inovação.** Florianópolis: VII Seminário de Pesquisa Interdisciplinar, UNISUL, 2014.
- BUENO, Ernesto. Parametria/Parametricismo. **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital.** No prelo, 2014.
- BURSZTYN, Marcel. **Armadilhas do progresso: contradições entre economia e ecologia.** 1995.
- CASAGRANDE, Marcos Cardoso et al. **Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico.** Cerâmica Industrial, v. 13, n. 1/2, p. 34-42, 2008.
- CAVALCANTI, Diego Rocha Medeiros. **O surgimento do conceito "corpo": implicações da modernidade e do individualismo.** CAOS-Revista Eletrônica de Ciências Sociais, n. 9, p. 53-60, 2005.



- CAVALHEIRO, Odilon Pancaro. **A Evolução dos Edifícios em Alvenaria Auto-Portante**. 14f. Seminário, Departamento de Estruturas e Fundação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- CERQUEIRA, D. A., RODRIGUES FILHO, G., CARVALHO, R. D. A., & VALENTE, A. J. **Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por $^1\text{H-RMN}$** . *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 20(2). (2010).
- CHÉRREZ, Odilón Rodrigo Flores de Valgas. **Diseño paramétrico generativo de sólidos celulares funcionalmente graduados**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Quito, 2018.
- CIDADE, Lúcia Cony Faria. **Visões de mundo, visões da natureza e a formação de paradigmas geográficos**. *Terra Livre*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 99-118, 2001.
- COLAVITTI, Fernanda. **A memória e o caos digital**. Publicado em, v. 5, 2009.
- COLLINS, Peter. **Los Ideales de la Arquitectura Moderna; su Evolución (1750-1950)**. Barcelona: Gustavo Gili, 1970,1998.
- COLORFABB (2019). **Woodfill**. Disponível em: <<https://colorfabb.com/woodfill>>. Acessado em: 20 de maio de 2019.
- COLTRO, Leda et al. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: Cetea/Ital, v. 75, 2007.
- COSTA, Márcio M. **Princípios de ecologia industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.
- COUCEIRO, Mauro Costa. **Biomimética**. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital. No prelo, 2014.



- CUNHA, Iasminy Borba da. **Quantificação das emissões de CO2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. 2016. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- DE ANDRADE, André Luiz Campos; MATTEI, Lauro. **Consumo energético e emissões de CO2: uma análise do setor de transportes brasileiro**. 2011.
- DE CARVALHO, Marília Gomes. **Tecnologia, desenvolvimento social e educação tecnológica**. 1997.
- DE SOUZA, Edison Eloy. **Arquitetura e geometria**. Universidade do Estado do Mato Grosso. [20-?]
- DUARTE, Técia Maria Pereira; SALGADO, Mônica Santos. **O projeto executivo de arquitetura como ferramenta para o controle da qualidade na obra**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 9, p. 65-74, 2002.
- DULLEY, Richard Domingues. **Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais**. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004.
- EPA – Environmental Protection Agency, **CHARACTERIZATION OF BUILDING-RELATED CONSTRUCTION AND DEMOLITION DEBRIS IN THE UNITED STATES, 1998**. Disponível em <<https://www.epa.gov/smm/characterization-building-related-construction-and-demolition-debris-united-states>>; Acessado em 18 de agosto de 2018.
- FATTINI, Carlo Americo; DANGELO, Jose Geraldo. **Anatomia humana básica**. In: Anatomia Humana Basica. 2002.
- FERNANDES, Fernanda. **Arquitetura no Brasil no segundo pós-guerra-a síntese das artes**. PESSÔA, José, et. al. Anais do 6º Seminário Docomomo Brasil, Moderno e Nacional: Arquitetura e Urbanismo, Niterói, 2005.



FERNANDEZ, Jaqueline Aparecida Bória. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil.** 2012.

FERRAZ, Henrique. O aço na construção civil. **Revista eletrônica de ciências.** São Paulo, n. 22, 2003.

FLORIO, Wilson. **Modelagem Paramétrica.** 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital. No prelo, 2014.

FRANCO, Luiz Sérgio. **O projeto das vedações verticais: características e a importância para a racionalização do processo de produção.** Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, v. 1, p. 221-236, 1998.

FUNAPE. Parte II: **Dialética da Natureza.** [20-?].

GALASSI, Cristiane; TAVARES, Célia Regina Granhen. **PROCESSO PRODUTIVO DE BLOCOS CERÂMICOS.** In: VI Simpósio Maringaense de Engenharia de Produção. 2013.

GEBRAN, Amaury Pessoa. **Manutenção e Operação de Equipamentos de Subestações.** Porto Alegre, 2014.

GIBSON, Lorna J.; ASHBY, Michael F. **Cellular solids: structure and properties.** Cambridge university press, 1999.

GOMES, J. N. P. L. **Misturas de acetato de celulose-brometo de poli {[9, 9-bis (6'-N, N, N-trimetilamônio) hexil} fluorenofenileno}: preparação, caracterização e cinética de liberação (Master's thesis).** (2010).

GONÇALVES, Josiane Peres. **Ciclo vital: início, desenvolvimento e fim da vida humana possíveis contribuições para educadores.** Revista Contexto & Educação, v. 31, n. 98, p. 79-110, 2016.



- GUNN, Philip; DE BARROS CORREIA, Telma. **O urbanismo, a medicina e a biologia nas palavras e imagens da cidade**. Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, n. 10, p. 34-61, 2001.
- HEGEL, Georg Wilhelm Friedrich. **Enciclopédia das Ciências Filosóficas em Compêndio: 1830**. I A Ciência da Lógica. S. Paulo: Loyola, 1995. Disponível em <<http://www.funape.org.br/contracorrenteza/parte2.pdf>> Acessado em: 15 de outubro de 2018.
- HENSEL, Michael, MENGES, Achim e WEINSTOCK, Michael. **Techniques and Technologies in Morphogenetic Design**. Folded Plate Roof Research Project, KPF, AD (Architectural Design Magazine) no. 180, Wiley-Academy Press, London. 2006.
- INOJOSA, Leonardo da Silveira Pirillo; BUZAR, Márcio Augusto Roma. **Sistemas Estruturais na Arquitetura**. 2015. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 15.
- INSTITUTO DE ENGENHARIA. **A utilização do aço na construção civil**. 2015. Disponível em <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2015/10/06/a-utilizacao-do-aco-na-construcao-civil/>> Acessado em: 9 de setembro de 2018
- JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos avançados, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.
- JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos, 2000.
- JOSE, Sachin et al. **Additive Manufacturing and Stress Analysis of Naturally and Artificially Optimized Cellular Structures**. 2015. Tese de Doutorado.
- JÚNIOR, Enio Ribeiro. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**. Revista On-line Especialize – IPOG. Goiânia, 2015.



- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia básica: texto e atlas**. 12.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 354.
- KAPP, Silke. **Autonomia heteronomia arquitetura**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v. 10, n. 11, 2003.
- KEATING, S., & OXMAN, N. (2013). **Compound fabrication: A multifunctional robotic platform for digital design and fabrication**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 29(6), 439-448.
- LEAL, Georla Cristina Gois; DE FARIAS, Maria Sallydelandia Sobral; ARAUJO, Aline Farias. **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano**. Qualitas Revista Eletrônica, v. 7, n. 1, 2008.
- LEN, Fernando; MAZZILLI, Paola. **Imagens Líquidas: Um Estudo Sobre a Construção de Identidades no Aplicativo Snapchat**. In: Intercom, Anais-XX Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sudeste, Uberlândia. 2015. p. 1-12.
- MARTÍNEZ, Alfredo Córdova; ALVAREZ-MON, Melchor. **O sistema imunológico (I) & 58; conceitos gerais, adaptação ao exercício físico e implicações clínicas**. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v. 5, n. 3, p. 120-125, 1999.
- MARTINEZ, Andressa Carmo Pena. **Peles Digitais**. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital. No prelo, 2014.
- MARTINS, Patrícia Pereira et al. **Uma arquitetura outra = o processo de ruptura entre forma e função**. 2011.
- MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHHEIN, Raquel Naves. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. Sustentabilidade em Debate, v. 3, n. 1, p. 75-95, 2012.



- MEDEIROS, Mara Glacenir Lemes de. **Natureza e naturezas na construção humana: construindo saberes das relações naturais e sociais.** Ciência & Educação (Bauru), v. 8, n. 1, p. 71-82, 2002.
- MEIRA, Gerson Luiz. **A biomimética utilizada como ferramenta alternativa na criação de novos produtos.** ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO DO VALE ITAJAÍ -ENSUS, 2008.
- MITRA, B. C. **Environment friendly composite materials: biocomposites and green composites.** Defence Science Journal, v. 64, n. 3, p. 244-261, 2014.
- NUCCI, André Luis Carrilho. **“DNA” ARQUITETÔNICO: CONCEITOS DE DESIGN APLICADOS AO MÉTODO PARA REABILITAÇÃO DOS ESPAÇOS DA ARQUITETURA.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.
- WEISZFLOG, Walter. **Significado de epistemologia.** Moderno Dicionário da Língua - Dicionário Michaelis, 2007.
- MOI, Regiane Cristina. **Envelhecimento do sistema tegumentar: revisão sistemática da literatura.** 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto.
- NABONI, Roberto; KUNIC, Anja. **Design and Additive Manufacturing of Lattice-based Cellular Solids at Building Scale,** 2017.
- NETO, Isaías de Carvalho Santos. **Notas para uma estética da arquitetura.** Revista de Urbanismo e Arquitetura, v. 2, n. 2, 2008.
- NEVES, Evandro Marques das. **Rigidez dos triângulos.** 2014. 58 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/115775>>. Acessado em: 18 de maio de 2019.



- OXMAN, Neri et al. **Biological Computation for Digital Design & Fabrication**. eCAA De: Computation and Performance, September 18-20, Delft University of Technology (TU Delft), Delft, the Netherlands, (31:1-10). 2013.
- OXMAN, Neri et al. **Freeform 3D printing: Towards a sustainable approach to additive manufacturing**. Green Design, Materials and Manufacturing Processes, v. 479, 2013.
- OXMAN, Neri; ORTIZ, Christine; GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. **Material Ecology**. Computer-Aided Design, Elsevier, Volume 60, March 2015, Pages 1-2.
- OXMAN, Neri. **Templating Design for Biology and Biology for Design**. Architectural Design, 85(5), 100-107 (2015).
- PATTINSON, S. W., & HART, A. J. **Additive manufacturing of cellulosic materials with robust mechanics and antimicrobial functionality**. Advanced Materials Technologies, 2(4). (2017).
- PINHEIRO, Libânio M. et al. **Estruturas de concreto**—capítulo. São Paulo, 2010.
- PUPO, Regiane Trevisan. **Fabricação Digital**. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital. No prelo, 2014.
- RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral; FERREIRA, Karine Araújo. **Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 8, 2002.
- ROCHA, Bruno Massara; VENANCIO, Leonardo Valbão. **Impressão 3D e processo de projeto paramétrico aplicado ao design emergencial**. Blucher Design Proceedings, v. 3, n. 12, p. 269-274, 2017.
- ROCHA, Bruno M.; VENANCIO, Leonardo V. 388. **PROTOTIPAGEM DIGITAL PARAMÉTRICA ORIENTADA AO DESIGN EMERGENCIAL—O CASO DO DESASTRE AMBIENTAL MG/ES**. 2017.



- ROTH, Caroline das Graças; GARCÍAS, Carlos Mello. **Construção Civil e a degradação ambiental**. Desenvolvimento em Questão, v. 7, n. 13, 2009.
- ROTH, Leland. **Entender a arquitetura. Seus elementos, história e significado**. Tradução Joana Canedo. São Paulo: Gustavo Gili, 2017.
- SANTOS, Ivan Mota. **Impressão 3D. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. No prelo, 2014.
- SANTOS, Denise Ribeiro et al. **Impacto do projeto de Alvenaria na geração de resíduos de Construção Civil: Estudo de Caso 1**. Universidade Federal de Viçosa. 2015
- SANTOS, Renan. **Análise Comparativa entre os Sistemas em Palete e Wood Frame**. REVISTA InSIET, v. 5, n. 1, p. 153-172, 2017.
- SCAN & SOLVE™ PRO for RHINO 6. Disponível em <<http://www.scan-and-solve.com/>>. Acessado em 21 de maio de 2019.
- SCHUMACHER, P. **The Autopoiesis of Architecture: A New Agenda for Architecture**. v. 2. Chichester: John Wiley & Sons, 2012.
- SCREMIN, Lucas Bastianello et al. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte**. 2007.
- SENNETT, R., (2008) **The Craftsman**, Yale University Press.
- SILVA, Patrícia Emília Villela & MOREIRA, Rodrigo Resende. **Projeto de Alvenaria de Vedação – Diretrizes para a elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575 - Universidade Federal de Goiás**. Curso De Graduação Em Engenharia Civil. GOIÂNIA 2017



- SOUZA JÚNIOR, Tarley Ferreira de. **Estruturas de concreto armado**. NOTAS DE AULAS, 2016.
- SPENCE; Alexander P. (1991). **Anatomia Humana Básica**. 2ª Edição, Editora Manole LTDA.
- STRAUBE, Nicolas et al. **Description of a new deep-sea lantern shark *Etmopterus viator* sp. nov. (Squaliformes: Etmopteridae) from the Southern Hemisphere**. The Kerguelen Plateau: Marine Ecosystem and Fisheries, Société Française d'Ichtyologie, Paris, p. 135-148, 2011.
- STRAUSS, J. S.; MATOLTSY, A. G. Pele. In: WEISS, L.; GREEP, R. O. **Histologia**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981. p. 486
- TAVARES, Carlos Breno Paulino et al. **A constituição de células de trabalho na programação de obras em edifícios**. In: Conferência latino-americana de construção sustentável. 2004.
- TIBURONES CHILE. <http://www.tiburoneschile.cl/?page_id=76>. Acessado em: 18 de maio de 2019.
- TOMIELLO, Fernanda. **IMAGENS LÍQUIDAS**. PIXO-Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade, v. 2, n. 4, 2018.
- THOMPSON, R. **Materiais Sustentáveis, processos e produção**. Brasil, Ed. Senac. (2015).
- TORTORA, Gerard J.; DERRICKSON, Bryan. **Corpo Humano-: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. Artmed Editora, 2016.
- TUCCI, Carlos EM; HESPANHOL, Ivanildo; NETTO, Oscar de M. Cordeiro. **Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”**. Interações, v. 1980, p. 90, 2003.



- VENTURI, Robert. **Complexidade e Contradição em Arquitetura**. Tradução Álvaro Cabral - 2ª Ed. - São Paulo: Martins fontes, 2004. - (coleção a)
- WEISZFLOG, Walter. **Dicionário Michaelis**. Moderno Dicionário da Língua, 2004.
- WEN, Li; WEAVER, James C.; LAUDER, George V. **Biomimetic shark skin: design, fabrication and hydrodynamic function**. Journal of Experimental Biology, v. 217, n. 10, p. 1656-1666, 2014.
- YOPANAN, CPR. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate, 2007.
- ZENID, José Geraldo. **Madeira na construção civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.
- ZIEBELL, Luiz Fernando. **O quarto estado da matéria / Luiz F. Ziebell**. - Porto Alegre : UFRGS, Instituto de Física, 2004.
- 3DPRINTING ColorFabb With a New corkFill 3D printer Filament. Disponível em: <<http://3dprintingblog.com/tag/corkfilament/>>. Acessado em: 2 de Junho de 2019. (2019).
- 3DWASP (2019). **The first 3d printed house with earth**. Disponível em; < <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>> Acesso: maio 2019.



UFES