



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Fachadas biomiméticas regenerativas

Mariana Almeida Aguiar

Mestrado Integrado em Arquitectura

Orientadores:

Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Doutor Pedro da Luz Pinto, Professor Auxiliar
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2020



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Departamento de Arquitectura e Urbanismo

Fachadas biomiméticas regenerativas

Mariana Almeida Aguiar

Mestrado Integrado em Arquitectura

Orientadores:

Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Doutor Pedro Luz Pinto, Professor Auxiliar
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

“What if, every time I started to invent something, I asked, 'How would nature solve this?'" — Janine Benyus

Agradecimentos

A todos os professores que acompanharam o meu percurso desde a Universidade dos Açores ao ISCTE.

Aos meus orientadores, Pedro Pinto e Vasco Rato, pelo apoio incansável e pela ajuda a ultrapassar todas as adversidades que a situação atual nos proporcionou.

Ao António e à Neuza, que me acompanharam desde o início do curso e com quem tive o privilégio de desenvolver este projeto final, pela amizade, pelos cafés e por aturarem todos os dramas e crises ao longo destes anos.

À minha família e a todos os que acreditaram em mim e me incentivaram ao longo deste curso, que, mesmo em momentos críticos, continuamente me apoiaram.

Por último, e certamente mais importante, **aos meus pais**, por serem modelos de coragem, a quem devo mais do que consigo agradecer, que possibilitaram todo este percurso.

Obrigada!

Resumo

Num contexto onde é necessário compatibilizar as preocupações relativas ao impacto ambiental com a eficácia funcional da arquitetura, visto que o ambiente construído foi reconhecido como um dos principais contribuintes para a perda de biodiversidade, o biomimetismo tem dado boas respostas para esse conjunto de problemáticas.

Neste sentido, o tema desta investigação é o biomimetismo aplicado à arquitetura, nomeadamente aplicado a fachadas, que possam ser não só sustentáveis, mas também regenerativas em relação ao ambiente em que se inserem.

É investigada uma hipótese que visa contribuir para a solução desse desafio: através de princípios de biomimetismo conseguir juntar arquitetura, responder aos requisitos funcionais e reduzir o impacto ambiental, no contexto da construção de uma escola sustentável, de uma residência para estudantes, um centro transdisciplinar socioeconómico e um centro de empreendedorismo, para um lote localizado na Cidade Universitária, em Lisboa.

Como resultado desta investigação é desenvolvida uma estrutura de fachada biomimética alimentada por microalgas que propõe regenerar o ambiente envolvente assim fazer parte integrante de uma experiência arquitetónica sensorial, enquanto responde a requisitos funcionais do programa.

Palavras-chave: biomimetismo, arquitetura regenerativa, fachadas biomiméticas, microalgas, fotobiorreatores

Abstract

In a context where it is necessary to reconcile the concerns related to the environmental impact with the functional efficiency of architecture, since the built environment was recognized as one of the main contributors to the loss of biodiversity, biomimicry has given good answers to this set of problems.

In this sense, the theme of this investigation is biomimicry designed for architecture, specifically applied to facades, which can be not only sustainable, but also regenerative in relation to the environment in which they operate.

A hypothesis that aims to contribute to the solution of this challenge is investigated: through the principles of biomimicry being able to combine architecture, meet the necessary requirements and reduce the environmental impact, in the context of building a sustainable school, a residence for students, a socioeconomic transdisciplinary center and an entrepreneurship center, for a lot located in Cidade Universitária, in Lisbon.

As a result of this investigation, a biomimetic façade structure powered by microalgae is developed, which proposes to regenerate the surrounding environment as well as being an integral part of a sensorial architectural experience, while responding to the program's requirements.

Keywords: biomimicry, regenerative architecture, biomimetic facades, microalgae, photobioreactors.

Índice

Agradecimentos	7
Resumo	8
Abstract	9
Índice de ilustrações	12
Introdução	16
Enquadramento	17
Biomimetismo	20
Biomimetismo aplicado na Arquitetura	23
1. Sistemas de produção de energia	23
1.1 Solar Ivy.....	24
1.2 Hypergiant EOS Biorreator	26
1.1 Solarleaf.....	29
2. Materiais sintéticos	32
2.1 Materiais hidrofóbicos	33
2.2 Materiais hidrodinâmicos	34
2.3 Materiais para captação de água - sistemas de retenção de água.....	34
2.4 Materiais despoluentes e regenerativos do ambiente.....	38
3. Sistemas de ventilação	40
3.1 Construções de térmitas.....	40
3.2 Euplectella aspergillum	42
4. Sistemas de sombreamento	44
4.1 Oxalis triangularis.....	45
5. Processo de Design	46
Processo de Projeto de Engenharia.....	48
6. Metodologias de Aplicação.....	48
Caso de estudo	50
1. Enquadramento	50
1.1 Workshop.....	52
2. Programa	58
3. A leitura do lugar e sua contextualização territorial	64
4. Estratégia de intervenção	66
5. Socio-Tech Centre.....	68
5.1 Introdução à investigação teórica	76
6. Identificação da problemática	76
6.1 Identificação/abstração de situações análogas e proposta de design.....	76

7.	Fontes de Energia Renováveis (FER)	78
7.1	Solar Fotovoltaico.....	78
7.2	Biomassa.....	79
7.3	Solar Térmico	79
8.	Painéis biorreatores como FER.....	80
8.1	Microalgas	85
8.2	Sistemas de cultura de microalgas.....	88
8.3	Vantagens da biomassa algal	90
9.	Avaliação da proposta: capacidade regenerativa e produção energética	92
9.1	Capacidade regenerativa	92
9.2	Produção energética.....	93
10.	Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP)	94
10.1	Modo de funcionamento	94
10.2	Coefficiente de escoamento	95
10.3	Área de captação.....	95
10.4	Cálculo de volume água anual a captar	95
10.5	Armazenamento.....	96
11.	Avaliação da proposta: aproveitamento de águas pluviais	97
12.	Organização programática da fachada	99
	Considerações Finais	101
	Bibliografia	102
	Anexos	105
1.	Referências de projeto.....	106
2.	Painéis das fases de grupo.....	108
3.	Evolução do projeto individual.....	111

Índice de ilustrações

1. Impacte do ambiente contruído na sua envolvente. Fonte: (Yeang, 1995).	17
2. Diagrama sobre a relação entre biologia, arquitetura, tecnologia e climatologia. Fonte: (Yeang, 1995)	18
3. Exemplos biomimetismo de organismos naturais e possíveis adaptações em fachadas. Fonte: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-3747-5_1	22
4. Células solares Solar Ivy e a sua aplicação em fachada. Fonte: https://inhabitat.com/solar-ivy-building-integrated-modular-photovoltaic-system-grows-bigger-better/	25
5. Biorreator desenvolvido pela Hypergiant, EOS Biorreator. Fonte: https://www.hypergiant.com/green/	27
6. Projeto BIQ House, com fachadas Solarleaf, em Hamburgo, Alemanha. Fonte: Colt International, Arup Deutschland, SSC GmbH.	30
7. Esquema representativo da produção energética com uma fachada SolarLeaf em Munique, Alemanha. Fonte: ARUP.....	31
8. Pormenor construtivo da fachada SolarLeaf. Fonte: ARUP.....	31
9. Representação do contacto das gotas de água com a folha de lótus. Fonte: http://naturezamisterioecuriosidades.blogspot.com/2014/09/a-folha-do-lotus.html	33
10. Esquema das partículas sob efeito lótus. Fonte: https://betaeq.com.br/index.php/2015/10/24/efeito-lotus-a-tecnologia-que-proporciona-autolimpeza-para-as-superficies/	33
11. Representação das microescamas de tubarão. Fonte: (SOARES, 2016)	34
12. Pormenor dos espelhos no topo da torre Warka Water. Fonte: retirado de https://www.ecycle.com.br/component/content/article/6-atitude/3101-waka-water-uma-maneira-simples-de-captar-agua-para-populacoes-carentes-da-africa.html	35
13. Projeto Warka Water. Fonte: retirado de https://www.hometeka.com.br/f5/warka-water-a-estrutura-que-gera-agua-potavel-a-partir-do-ar/	35
14. Sistema modular de fachadas Prosolve370e. Aplicação do sistema na fachada do hospital Manuel Gea Gonzales Specialty Tower, México. Fonte: (SOARES, 2016).....	39
15. Analogia com as construções de térmitas no edifício Eastgate Center, no Zimbabwe. Fonte: retirado de https://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/	41
16. Euplectella aspergillum. Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Venus%27_flower_basket	43
17. Estrutura da Euplectella aspergillum. Fonte: https://wyss.harvard.edu/	43
18. Pormenor construtivo da na torre 30 St Mary Ax. Fonte: Norman Foster	43
19. 30 St Mary Axe, Swiss Re Headquarters. Fonte: https://www.miesarch.com/work/1683	43
20. 30 St Mary Axe, Swiss Re Headquarters. Fonte: https://www.miesarch.com/work/1683	43
21. 30 St Mary Axe, Entrada principal. Fonte: https://www.miesarch.com/work/1683	43
22. Planta Oxalis triangularis. Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Oxalis_Triangularis_Photonasty_Timelapse.ogv	45
23. Edifício central do Campus Kolding, Universidade do Sul da Dinamarca. Fonte: https://www.engenhariacivil.com/edificio-fachadas-responsivas	45
24. Pormenor da fachada do edifício central do Campus Kolding, Universidade do Sul da Dinamarca. Fonte: https://www.engenhariacivil.com/edificio-fachadas-responsivas	45

25. Esquema 'Challenge to biology'. Fonte: Biommicry 3.8.....	47
26. Esquema 'Biology to design'. Fonte: Biommicry 3.8.....	47
27. Mapa de localização: Lisboa, Cidade Universitária. Fonte: elaborado pela autora.....	51
28. Mapa de localização: Lisboa, Quinta do Morgado. Fonte: elaborado pela autora.	53
29. Torre. Planta do piso térreo e cobertura, respetivamente. Existente vs Proposto. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.....	55
30. Torre. Corte transversal. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.	56
31. Torre. Planta tipo T1+T3 duplex primeiro piso, e planta tipo T1+T3 duplex segundo piso. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.....	57
32. À esquerda, é possível observar a planta de piso térreo, ao meio a planta tipo T1+T2, e à direita a planta de cobertura. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.	57
33. Torre. Plantas de zonas húmidas, por tipologia. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.	57
34. Planta de localização. Cidade Universitária. Fonte: elaborado pela autora.....	61
35. Planta de permeabilidade do solo e linhas de água. Fonte: elaborado pela autora.	62
36. Planta de topografia e tipos de solo. Fonte: elaborado pela autora.	63
37. Planta de implantação. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.	65
38. Alçados conceptuais da primeira, segunda e última fases. Fonte: elaborado pela autora.	66
39. Perspetiva este da proposta de intervenção de grupo. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.....	67
40. Socio-tech centre. Planta do piso térreo. Fonte: elaborado pela autora.	69
41. Socio-tech centre. Planta do piso térreo. Fonte: elaborado pela autora.	71
42. Socio-Tech Centre. Perspetiva do alçado norte. Fonte: elaborado pela autora.	72
43. Socio-Tech Centre. Planta do piso térreo e piso 1. Fonte: elaborado pela autora.	73
44. Socio-Tech Centre. Planta do piso 2 e piso 3. Fonte: elaborado pela autora.	74
45. Socio-Tech Centre. Alçado norte, corte CC', corte DD' e corte AA'. Fonte: elaborado pela autora.....	75
46. Fachada de vidro com microalgas. Fonte: Laboratório de Pesquisa em Design Integrado da Universidade da Carolina do Norte (IDRL).	81
47. Concurso Internacional 'Architecture at Zero': Symbiosis, casas em modo de energia zero. Esquema painel biorreator. Fonte: Arquitectos Rocio Carvajo, Sergio Carretero, Josiane Crampé, Geoffrey Diackiw.....	81
48. Axonometria explodida da montagem de um painel adaptativo e reativo. Fonte: Autorial de Samantha Bard, Mary Lopreiato, e Libertad McLellan, NJIT'16. Instructor: Andrzej Zarzycki, NJIT.....	83
49. Pormenor construtivo de um painel adaptativo e reativo. Fonte: Autorial de Samantha Bard, Mary Lopreiato, e Libertad McLellan, NJIT'16. Instructor: Andrzej Zarzycki, NJIT.	83
50. Exemplos de microalgas.Fonte: https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/	87
51. Sistema aberto tipo canaleta para cultivo de microalgas. Fonte: https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/	89
52. Sistema aberto extenso para cultura de microalgas. Fonte: https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/	89
53. Sistema fechado plano para cultivo de microalgas. Fonte: https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/	89

54. Sistema fechado tubular para cultivo de microalgas. Fonte: https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/	89
55. Spirulina Platensis. Fonte: https://www.star-ayurveda.com/spirulina-platensis/	91
56. Fachada biomimética. Axonometria. Fonte: elaborado pela autora.	99
57. Detalhes do sistema de fachada. Reproduzido com autorização do autor Kyoung-Hee Lim.....	99
58. Ilustração da espacialidade da fachada. Fonte: elaborado pela autora.	100
59. Aires Mateus, The Art Museum of the 20th Century. Fonte: autoria de Manuel e Francisco Aires Mateus .	107
60. Arq. Ventura Trindade, Estação Biológica do Garducho. Maquete. Fonte: autoria de Ventura Trindade arquitectos.....	107
61. Arq. Ventura Trindade, Estação Biológica do Garducho. Pormenor do vão. Fonte: autoria de Ventura Trindade arquitectos	107
62. Arq Lacaton & Vassal, Arts et Sciences Humaines de l Université Pierre Mendès-France. Fonte: Lacaton & Vassal.....	107
63. Arq. A. Siza, Amore Pacific. Fonte: Fotografia de Fernando Guerra.	107
64. Arq. Carrilho da Graça, Igreja de Santo António e centro social de são bartolomeu, Portalegre. Fonte: Fotografia de Fernando Guerra.....	107
65. Arq. Gonçalo Byrne, Vila Utopia. Fonte: Fotografia de Fernando Guerra.	107
66. Arq Lacaton & Vassal, Hall d'exposition, Paris. Fonte: Lacaton & Vassal	107
67. Primeira fase, novembro de 2019. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar. .	108
68. Segunda fase, novembro de 2019. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar. .	108
69. Terceira fase, março de 2020. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.....	109
70. Paineis de grupo final, junho de 2020. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.	110
71. Paineis individuais do conceito, março de 2020. Fonte: elaborado pela autora.	111
72. Evolução da planta de piso térreo do projeto individual. Fonte: elaborado pela autora.....	112
73. Evolução dos painéis individuais, de 25 de maio a 26 de julho de 2020. Fonte: elaborado pela autora.	113

Introdução

Esta investigação tem como objetivo avaliar a capacidade regenerativa de fachadas biomiméticas em Lisboa, que utilizem painéis fotobiorreatores (FBRs) para cultivo de microalgas, e posterior recolha de biomassa, para produção energética.

Existem duas vertentes, sendo a primeira uma investigação teórica sobre o tema do biomimetismo e a segunda, a aplicação de uma metodologia desenvolvida no caso de estudo de projeto arquitetónico, que tem como local de estudo a Cidade Universitária, em Lisboa, assim como a sua avaliação.

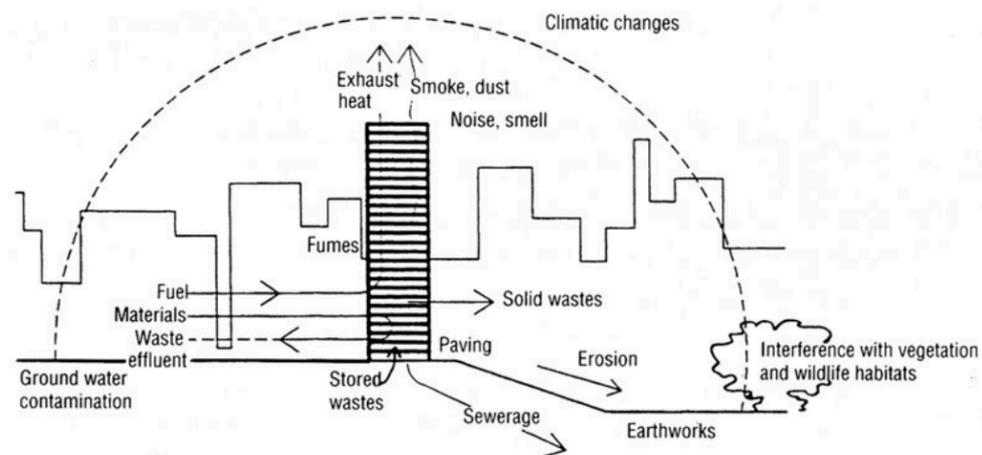
Neste caderno é apresentado todo o trabalho desenvolvido durante o ano, que se inicia com a introdução ao **Biomimetismo** e à arquitetura regenerativa. De seguida é apresentada a investigação sobre o estado da arte ao nível de: sistemas de produção de energia, materiais sintéticos, sistemas de ventilação e sombreamento, onde são apresentados alguns casos de estudo. Por fim, são apresentadas as metodologias de aplicação de biomimetismo, assim como a metodologia adotada para a vertente de projeto.

No capítulo Caso de estudo, é explicada a vertente mais prática do trabalho, enquadrando o trabalho desenvolvido no contexto do exercício proposto, que por sua vez é dividido em duas partes, uma de grupo: a nível da estratégia de intervenção na Cidade Universitária; e outra individual, onde é desenvolvido o programa de um Centro Tecnológico Transdisciplinar, onde é aplicada a vertente teórica.

Esta segunda fase do trabalho é iniciada pela análise ao local de estudo, Cidade Universitária, seguida de uma proposta de intervenção de grupo e da explicação do projeto individual. De seguida, é enquadrado o tema das fachadas biomiméticas na sua aplicação no projeto individual, divididos em três aspetos principais: capacidade regenerativa do ambiente, avaliação como fonte de energia renovável, capacidade de captação de água. Por fim, é apresentada a solução para as fachadas biomiméticas regenerativas do Socio-Tech Centre.

Enquadramento

A indústria da construção é descrita como a indústria menos sustentável, que consome globalmente quase metade dos recursos não renováveis utilizados. O ambiente construído foi reconhecido como um dos principais contribuintes para a perda de biodiversidade e, portanto, desempenha um papel importante na construção de um mundo sustentável. Neste sentido, é imprescindível que a arquitetura adote medidas sustentáveis e procure reduzir o seu impacto negativo no ambiente e participe ativamente na regeneração do mesmo (Opoku, 2018).

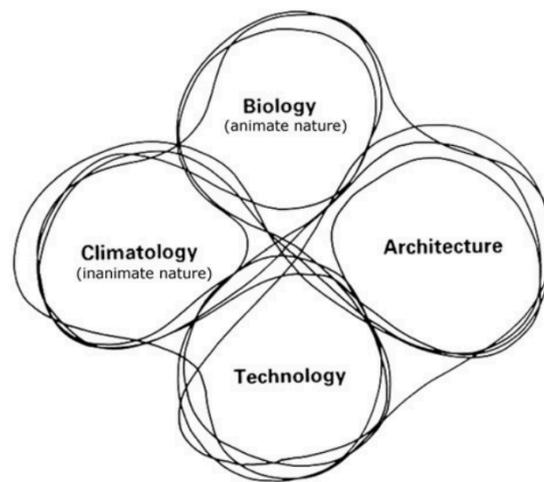


1. *Impacte do ambiente construído na sua envolvente. Fonte: (Yeang, 1995).*

Atualmente, alguns princípios básicos de design sustentável já são implementados em muitos regulamentos nacionais de construção. Mas a coerência entre questões ecológicas, design e funcionalidade ainda é um desafio. O surgimento do movimento de design ecológico foi consequente da crise energética na década de 1970, quando foram utilizados variados tipos de esforços para reduzir o input de energia e recursos naturais na indústria da construção. Como sempre, quando um parâmetro é considerado altamente importante na arquitetura, outros são negligenciados. Um dos maiores desafios que tem perdurado durante as últimas décadas é a conciliação entre estes vários aspetos, onde ocorre em muitas vezes a desconsideração do fator estético da arquitetura (Gruber, 2011).

Num contexto onde é necessário compatibilizar as preocupações relativas ao impacto ambiental com a eficácia funcional e estética da arquitetura, o biomimetismo tem dado boas respostas para esse conjunto de problemáticas.

O termo “biomimetismo” foi introduzido por Otto Schmitt em 1982 e foi redescoberto por Janine Benyus em 1997, consultora de inovação e cofundadora do Instituto de Biomimética. Em suma, este conceito traduz-se na assimilação dos princípios regentes da natureza, com a finalidade de auxiliar a compreensão e aprimoramento de questões tecnológicas análogas, nomeadamente no âmbito da sua aplicação em arquitetura, numa procura de modos de construção sustentáveis, que possam conciliar arquitetura, tecnologia, biologia e climatologia (Amer, 2019).



2. Diagrama sobre a relação entre biologia, arquitetura, tecnologia e climatologia. Fonte: (Yeang, 1995)

O aumento demográfico que se tem vindo a verificar tem como consequência uma crescente demanda por edifícios de habitação, infraestruturas, serviços, entre outros. Valores apontados no relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), *Perspetivas da População Mundial 2019: destaques*, estimam que a população mundial possa chegar a 9,7 mil milhões de pessoas em 2050 (Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019). Deste modo, é indispensável pensar na arquitetura do séc. XXI com a sua potencial capacidade regenerativa do ambiente. Esta abordagem da arquitetura pode tornar-se fundamental para reverter estes processos e para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

A premissa original do desenvolvimento sustentável é assente na teoria da conservação, como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas necessidades” (World Commission on Environment and Development, 1987). No entanto, a arquitetura regenerativa difere deste conceito, no sentido em que não idealiza a utilização dos recursos mínimos indispensáveis,

mas sim uma conceção e modo de operação dos edifícios que permita atingir um impacto positivo no ambiente.

Os bons resultados apresentados pelo biomimetismo devem-se ao inevitável carácter ecológico que a natureza oferece, sendo uma das suas propriedades principais a sua capacidade regenerativa. Esta característica encontra-se representada na natureza através da habilidade inerente dos tecidos, órgãos ou mesmo organismos se renovarem ou ainda de se recompor após danos físicos consideráveis, assim como regenerarem o ambiente envolvente.

A arquitetura em muito pode aprender através da aplicação de tecnologias inspiradas na natureza, que incorporem a capacidade regenerativa dos elementos naturais. Estas tecnologias permitem a sua aplicação em diversos elementos arquitetónicos, desde a estrutura, sistemas de ventilação, sistemas de fachadas ou revestimento.

As fachadas são a pele dos edifícios e apresentam inúmeras oportunidades de contribuir para resolver estas questões. O revestimento de fachada tem funções que vão muito além da sua aparência estética, pois exerce um papel fundamental nas condições de habitabilidade da edificação, assim como a proteção (segurança), isolamento térmico, isolamento acústico, sombreamento, ventilação e ainda proteção contra precipitação ou outros fatores externos.

O estudo da aplicação do biomimetismo na fachada torna-se relevante por apresentar várias funções que podem ser otimizadas e tornadas mais eficientes, ou ainda, aproveitadas, como por exemplo para produção energética ou captação de água. E, simultaneamente, o tratamento de fachada não compromete diretamente a organização espacial interior, e deste modo não cria restrições ou compromete os aspetos funcionais e estéticos da arquitetura.

Neste sentido, o tema escolhido para a investigação é o biomimetismo aplicado à arquitetura, nomeadamente aplicado a fachadas, que possam ser não só sustentáveis, mas também regenerativas em relação ao ambiente em que se inserem. O tema encontra motivação no facto de se considerar essencial que a arquitetura participe numa procura ativa de soluções para estas questões ambientais, nomeadamente no combate ativo às mudanças climáticas, uso extremo de energia e recursos naturais.

Biomimetismo

Nos últimos 20 anos, vários investigadores entenderam a importância da função biológica e desenvolveram metodologias de design que traduzem o mundo natural em tecnologia humana, que demonstraram o potencial do biomimetismo para melhorar significativamente os projetos arquitetónicos e desafiar o pensamento convencional.

O termo "biomimetismo" é originário da palavra grega "bios", que significa vida e mimese, que significa imitar. Refere-se a imitar estratégias naturais para conceber novas soluções sustentáveis. A imitação de sistemas ou processos naturais, quase inevitavelmente, afeta a forma, mas esse não é o ponto fundamental do biomimetismo (N., 2015), que não deve ser confundido com biomorfologia, ou seja, a inspiração na forma ou estética dos elementos naturais.

Precedendo o conceito de Biomimetismo, a Biónica surgiu em meados do século XX como um último reforço na procura criativa de novos materiais e abordagens, potenciada pela situação ambiental vivida por todo o planeta, despoletada pela Revolução Industrial ocorrida no final do século XVIII. Esta foi o ponto de partida para grandes alterações a nível mundial, uma vez que devido à transformação das atividades produtivas, ocorreram desastres ambientais que causaram milhares de mortes e evocando atenção, a partir do final da década de 1960, para a necessidade de reformas no sistema produtivo e de consumo.

No entanto, só agora designers, engenheiros e cientistas começam a compreender melhor esta metodologia e o meio que nos rodeia. Segundo Podborschi (2004), a Biónica é a ciência que estuda os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos, morfológicos, etc.) e a aplicação destes princípios e processos na procura de soluções para os problemas que a humanidade encontra.

Uma vez que a Biónica lida com a aplicação das estruturas, procedimentos e princípios de sistemas biológicos, converteu-se num campo interdisciplinar que combina a biologia com a engenharia, arquitetura e matemática (Lodato, 2005; Reed, 2004). De acordo com aqueles autores, a Biónica pode ser classificada em cinco categorias principais (Vaculenco & Podborschi, 2004)

1. Mimetismo total – uma estrutura material do objeto que seja indistinguível do produto natural;

2. Mimetismo parcial – uma versão modificada do produto natural;
3. Analogia não-biológica – mimetismo funcional;
4. Abstração – o uso de um mecanismo isolado;
5. Inspiração – propulsora para a criatividade;

Como uma disciplina científica, a Biónica assume uma abordagem sistémica à realização técnica e aplicação de processos de construção e princípios de desenvolvimento observados nos sistemas biológicos. Contribuiu para as inovações tecnológicas na aerodinâmica, sonar, ventilação, empacotamento, adesão, propulsão, bombagem, locomoção, composição material. No entanto, o rigor técnico da engenharia da Biónica tem virtudes e limitações (Vaculenco & Podborschi, 2004).

Esta abordagem pode aplicar-se ao design de um produto (usando soluções funcionais desenvolvidas com base em organismos biológicos), assim como a sistemas mais vastos, como comunidades, organizações, economias locais, entre outros (Richardson et al., 2005). Wahl (2006) sugere que a Biónica e o Biomimetismo representam duas abordagens distintas ao design e natureza, baseadas em diferentes conceções da relação entre a natureza e a cultura. Enquanto a Biónica, segundo este autor, trata da previsão, manipulação e controlo da natureza, o Biomimetismo aspira à participação na natureza, e por isso constitui uma maior contribuição para a sustentabilidade. Segundo este autor, uma transição para a sustentabilidade, mediada pelo design, requer uma abordagem holística e participativa da natureza e da cultura, dentro de um sistema dinâmico e interligado.

Portanto, o biomimetismo não é a simples imitação da Natureza, nem em matéria e função, nem em termos criativos, e sim a compreensão de princípios naturais para auxiliar na compreensão de questões tecnológicas análogas, que seriam resolvidas pelas aplicações de tecnologias otimizadas. O biomimetismo é praticado através do estudo da natureza para o avanço da tecnologia, pela etapa intermediária da abstração.

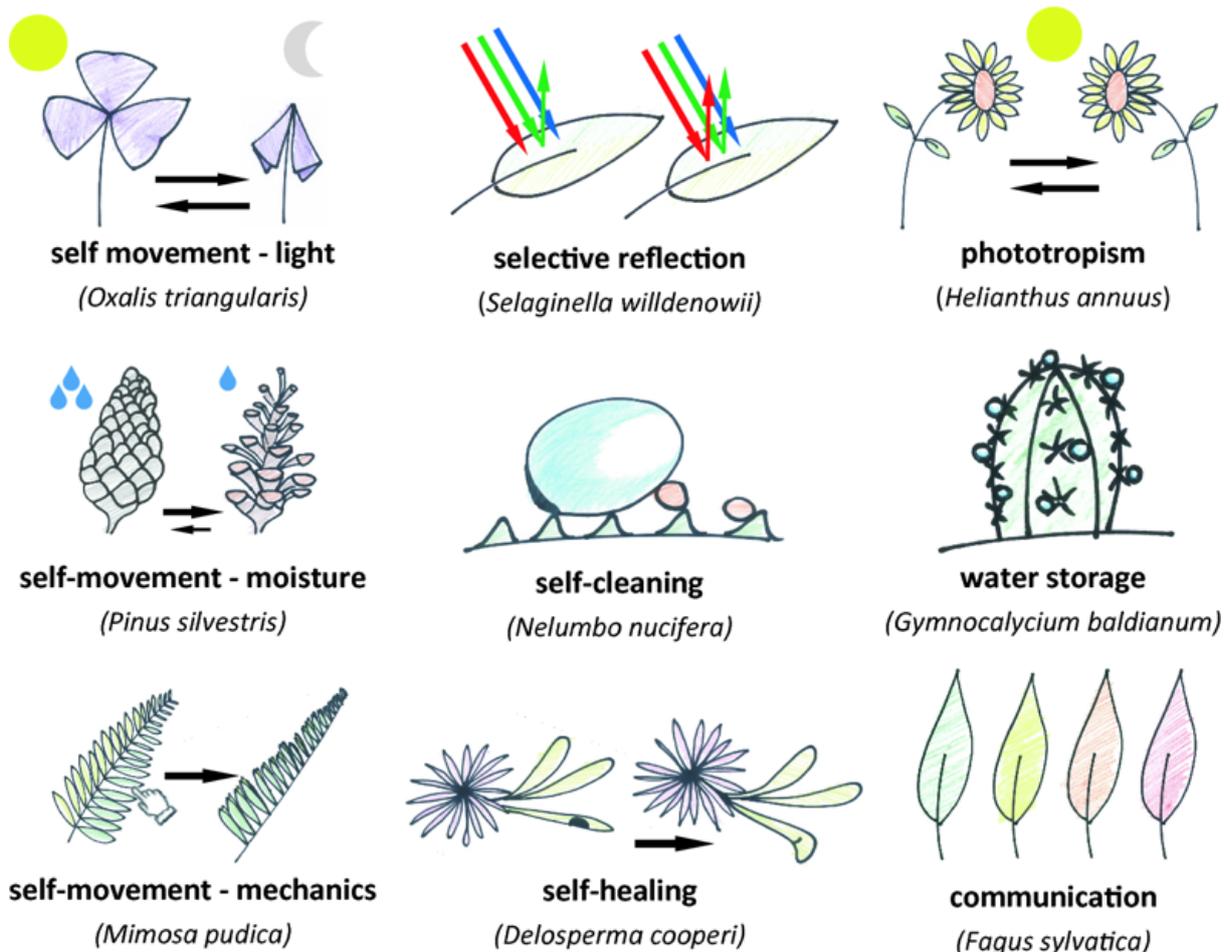
Existem três níveis principais de biomimetismo: **organismo, comportamento e ecossistema**. No nível do organismo, os edifícios podem imitar as características de um organismo individual. Ao nível comportamental, o design pode ser inspirado na forma como um organismo se comporta ou se relaciona com o seu contexto maior. Ao nível do

ecossistema, o design pode basear-se em todo o ecossistema de um organismo e da sua envolvente, enfatizando o processo natural e o ciclo do ambiente maior (Tavzan C, 2015).

O design pode ser biomimético em termos de forma e aparência, no seu material e de que é feito, na sua construção e como é feita, no seu processo e como funciona, na sua função e o que é capaz de fazer (Egito, 2012).

A dimensão mais aparente do biomimetismo é a emulação da função da natureza.

Emular a Natureza no nível do processo envolve aprender com a maneira como a Natureza evolui ou produz entidades. O biomimetismo examina os sistemas, a gestão dos recursos e dos resíduos, e a capacidade de regeneração dentro de ciclos de vida fechados (N., 2015).



3. Exemplos biomimetismo de organismos naturais e possíveis adaptações em fachadas. Fonte: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-3747-5_1

Biomimetismo aplicado na Arquitetura

Neste capítulo irão ser apresentadas sucintamente alguns exemplos de aplicações no biomimetismo na arquitetura, ao nível dos sistemas de produção de energia, materiais sintéticos, sistemas de ventilação e sistemas de sombreamento. Foram selecionados os casos de estudo com maior relevância para a investigação, sendo que existem muitos mais exemplos que foram estudados.

1. Sistemas de produção de energia

A energia elétrica tornou-se um recurso essencial à vida e sobrevivência do Homem e indispensável ao desenvolvimento económico das nações devido à sua multiplicidade de aplicações e à comodidade que a sua utilização confere. No entanto, a sua utilização excessiva e contínua tem trazido consequências a nível económico e ambiental. Apesar da diminuição da dependência energética registada nos últimos anos, ainda realizamos importações elevadas de combustíveis fósseis, que têm contribuído para o aumento de emissões de gases efeito de estufa (GEE). Assim sendo, a energia deve ser encarada como um bem a ser utilizado de modo eficiente e racional, integrando-se na abrangente perspectiva de utilização racional dos recursos.

A utilização maciça das fontes de energia de origem fóssil que contribuem para a libertação de gases de efeito de estufa para a atmosfera trazendo diversas consequências para o nosso Planeta, bem como a consciencialização desses impactes na saúde e no ambiente, têm levado a um aumento do interesse em energias renováveis e eficiência energética aplicados em cada setor de energia. O aumento da qualidade de vida e da exigência de conforto no interior das habitações levou a uma maior utilização de equipamentos de aquecimento e arrefecimento e, conseqüentemente, o foco de grande consumo de energia, responsáveis pelo aumento da emissão de gases de efeito de estufa. A título de exemplo, na Europa, o consumo de energia nos edifícios representa cerca de 40% da energia final e 36% das emissões de gases de efeito de estufa (DGEG, 2002), com tendência para aumentar pelo facto do sector se encontrar em expansão.

Perante esta problemática surge a necessidade de tornar os edifícios energeticamente mais eficientes, e os esforços para diminuir o consumo da energia e o impacte ambiental que é um importante problema mundial. Assim, uma das soluções possíveis para a resolução

desses problemas energéticos é o aumento da eficiência energética nos edifícios, que poderá reduzir as necessidades energéticas sendo, deste modo, essencial no controlo das emissões globais de gases com efeito de estufa.

As preocupações com a escassez dos recursos fósseis, o aumento gradual e acentuado dos seus preços e problemas ambientais, conduzem a uma cada vez maior preocupação em relação à eficiência energética e às energias renováveis, sendo estes os dois pilares para se encaminhar para uma política energética sustentável. Sobretudo nos edifícios que são responsáveis por grande parte do consumo de energia mundial.

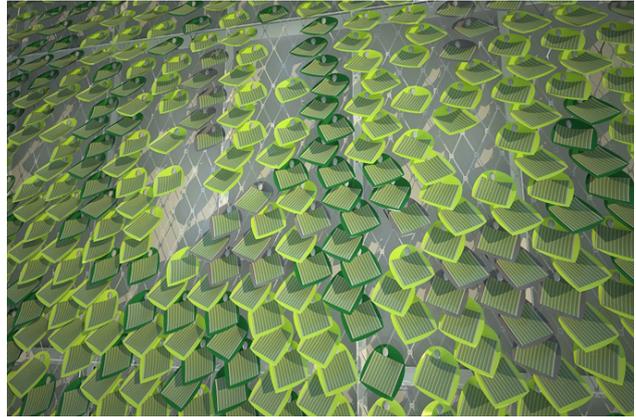
Como tal, surge a implementação de sistemas biomiméticos para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis. Os exemplos apresentados abaixo destes sistemas são baseados no processo de fotossíntese artificial e na tecnologia de células de energia solar, sendo uma das formas mais eficientes de reduzir o consumo de combustíveis fósseis.

1.1 Solar Ivy

Um exemplo onde o biomimetismo permitiu uma maior eficácia e eficiência são as células solares Ivy projetadas pela SMIT (Sustainably Minded Interactive Technology), uma empresa sediada em Brooklyn.

Estas células consistem numa película fina sobre polietileno com um gerador piezoelétrico conectado a cada folha, com clorofila (grupo de pigmentos fotossintéticos). Este sistema produz energia solar e eólica através de 'folhas artificiais' constituídas por essas células, inspiradas na planta do tipo trepadeira hera, que cresce verticalmente, em muros e fachadas de edifícios. Esta tecnologia permite que os painéis fotovoltaicos tenham uma menor dimensão, ocupem uma menor área que os painéis fotovoltaicos tradicionais e de forma mais eficiente. (Ask nature, 2016)

A Solar Ivy diferencia-se dos produtos já existentes no mercado pela sua capacidade de personalização, como escolha da cor, espaçamento e orientação, além de diferentes tipos de células fotovoltaicas. Além disso, existe uma adaptabilidade do sistema a diferentes tipos de clima e construção. Este também funciona como sistema de sombreamento dos edifícios, e assim possibilita a redução nos custos de climatização para o consumidor.



4. Células solares Solar Ivy e a sua aplicação em fachada. Fonte: <https://inhabitat.com/solar-ivy-building-integrated-modular-photovoltaic-system-grows-bigger-better/>

1.2 Hypergiant EOS Biorreator

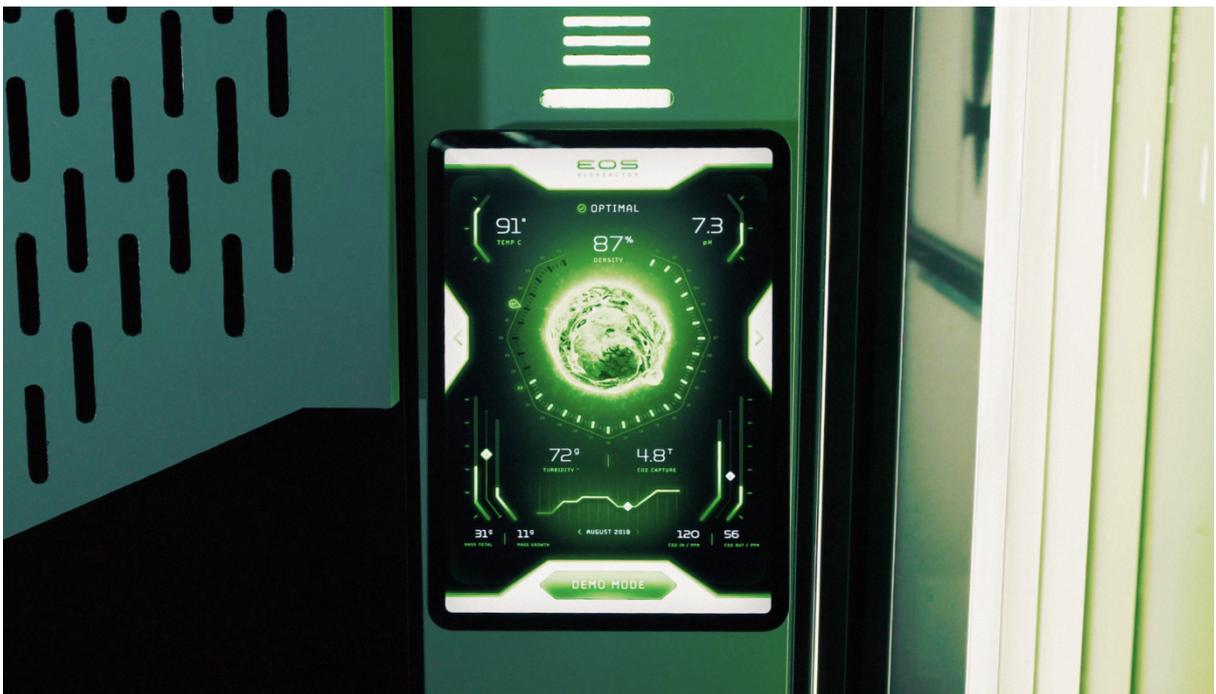
Um dos elementos naturais essenciais à existência do ser humano são as algas, uma vez que são responsáveis pela produção de cerca de 70% do oxigênio presente na atmosfera. Este grupo diversificado de organismos principalmente aquáticos, é uma das máquinas mais eficientes da natureza no que diz respeito ao consumo de dióxido de carbono, considerando a capacidade de fotossíntese destes organismos aquáticos. Deste modo, auxiliam na redução de CO₂ atmosférico, um dos gases responsáveis pela ocorrência do efeito estufa e consequente aquecimento global (Wolkers, Barbosa, Kleinegris, Bosma, & Wijffels, 2011).

“Na busca de alternativas para fornecer energia mais verde as algas têm apresentado um grande potencial como fonte energética sustentável. Neste domínio, as microalgas afiguram-se como uma alternativa auspiciosa para a próxima geração de biocombustíveis e, em particular, biodiesel, uma vez que têm a capacidade de duplicar a sua biomassa várias vezes por dia e produzir pelo menos 15 vezes mais óleo por hectare do que as culturas alimentares concorrentes” (Raquel Antunes, 2010). Pág.3.

As algas precisam de três elementos-chave para crescer: dióxido de carbono, luz e água. Ao consumir CO₂, as algas produzem biomassa que pode ser colhida e processada para criar combustível, óleos, fontes de alimentos com alto teor de proteínas e nutrientes, fertilizantes, plásticos, cosméticos e muito mais. O grande desafio atual consiste na otimização dos processos de produção e extração dos óleos, e na identificação e manipulação dos recursos biológicos com maior potencial de exploração com vista à valorização desta fonte energética no futuro. (Raquel Antunes, 2010)

A Hypergiant é uma empresa de tecnologia sediada em Austin, Texas, fundada em fevereiro de 2018, que desenvolve produtos de inteligência artificial (IA). Esta empresa desenvolveu um biorreator que usa a IA para otimizar o crescimento de algas, o que, de acordo com a Hypergiant, cria um produto mais sustentável, eficiente, e fisicamente menor do que outros protótipos. (Hyper Giant, 2020)

Biorreatores são tanques fechados onde se controlam as condições adequadas para um processo biológico ocorrer da melhor forma possível, sendo elas, na maioria dos casos, temperatura, agitação, aeração (quantidade de oxigênio que entra no sistema) e acidez. A agitação é necessária para evitar a sedimentação das algas e para garantir que todas as células da população estão igualmente expostas à luz e aos nutrientes; para evitar estratificação térmica e melhorar as trocas gasosas entre o meio de cultura e o ar.



5. Biorreator desenvolvido pela Hypergiant, EOS Biorreator. Fonte: <https://www.hypergiant.com/green/>

Com a gestão e monitorização constantes de fatores como quantidade e tipo de luz, CO₂ disponível, temperatura, pH, biodensidade e ciclos de colheita, é possível criar o ambiente perfeito para a absorção de dióxido de carbono do ambiente, otimizando assim este sistema. (Hyper Giant, 2020)

O dispositivo de dimensões de 90 por 90cm, com 2 m de altura, é destinado a ambientes urbanos. A ideia a longo prazo é incluí-lo como parte de um programa de grandes cidades inteligentes, onde o subproduto de algas do biodiesel pode fornecer combustível para uma variedade de outros produtos que promovem e melhoram a vida urbana. (Hyper Giant, 2020)

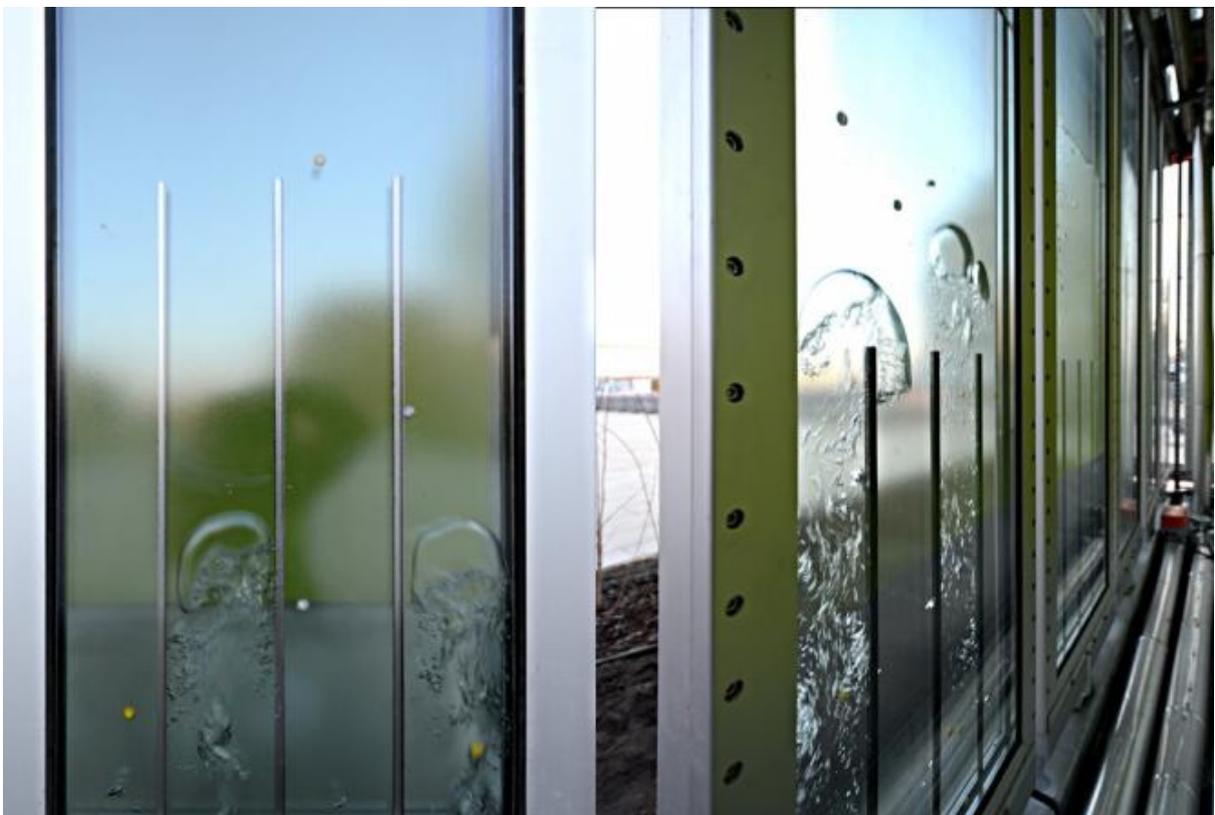
O biorreator Eos tem a capacidade de armazenar cerca de 1.780 litros de dióxido de carbono dessas algas, equivalente à absorção aproximada de 400 árvores, cerca de 0,4 Ha (4.046 m²). (Hyper Giant, 2020)

1.1 Solarleaf

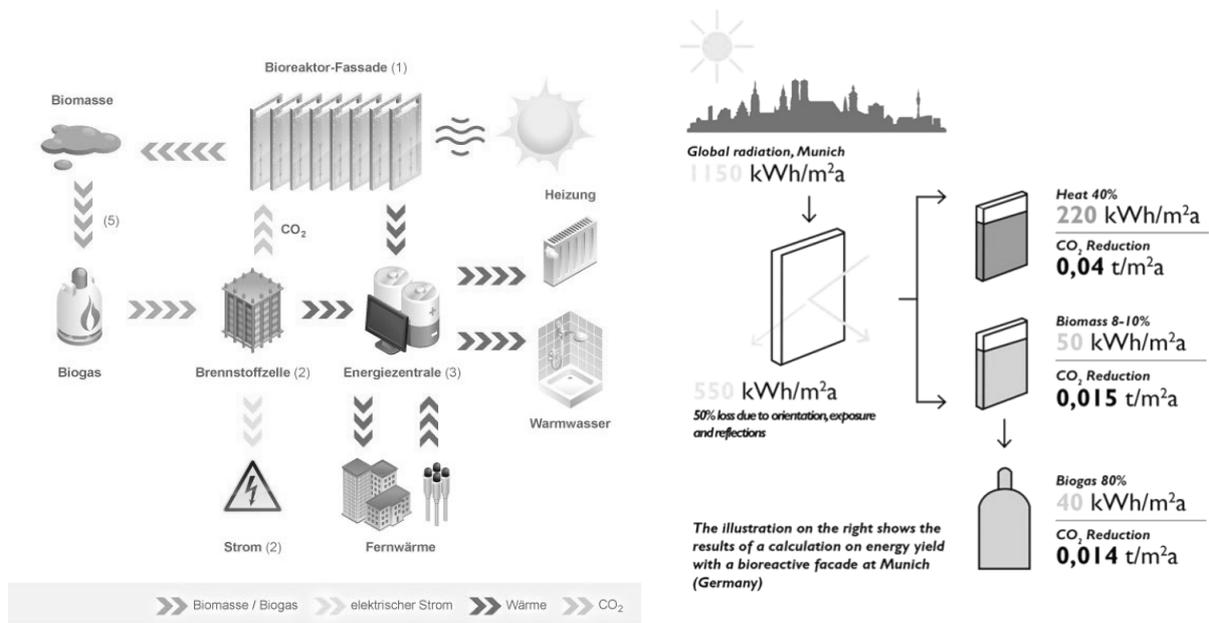
Um projeto semelhante, BIQ house, pioneiro nesta matéria, foi apresentado na International Building Exhibition (IBA) em Hamburgo em 2013 e desenvolvido em colaboração pela Strategic Science Consult da Alemanha (SSC), Colt International e Arup. Este projeto é caracterizado pelos **painéis biorreatores** presentes nas fachadas, **Solarleaf**. Esta fachada é das primeiras do mundo que produzem energia renovável a partir de **biomassa de algas e energia solar térmica**. (Colt; Arup; SSC, 2013)

As algas foram coletadas de um afluente do rio Elba, próximo ao edifício, para gerar microalgas (do tamanho de uma bactéria) que mais tarde seriam introduzidas em painéis de biorreatores e, com elas, cobriam parte da fachada do edifício. Esses painéis biorreatores, que cobrem as fachadas sudeste e sudoeste, contêm água e algas no interior, para gerar, através de um processo bioquímico, calor e energia. A biomassa e o calor gerados pela fachada são transportados através um sistema de circuito fechado para o centro de gestão de energia do edifício, onde a biomassa é colhida por meio de flutuação e o calor é extraído por um permutador de calor. Como o sistema é totalmente integrado com o edifício, o excesso de calor produzido pelos fotobiorreatores (FBRs) pode ser utilizado para aquecimento do edifício ou armazenado para uso posterior. (Colt; Arup; SSC, 2013)

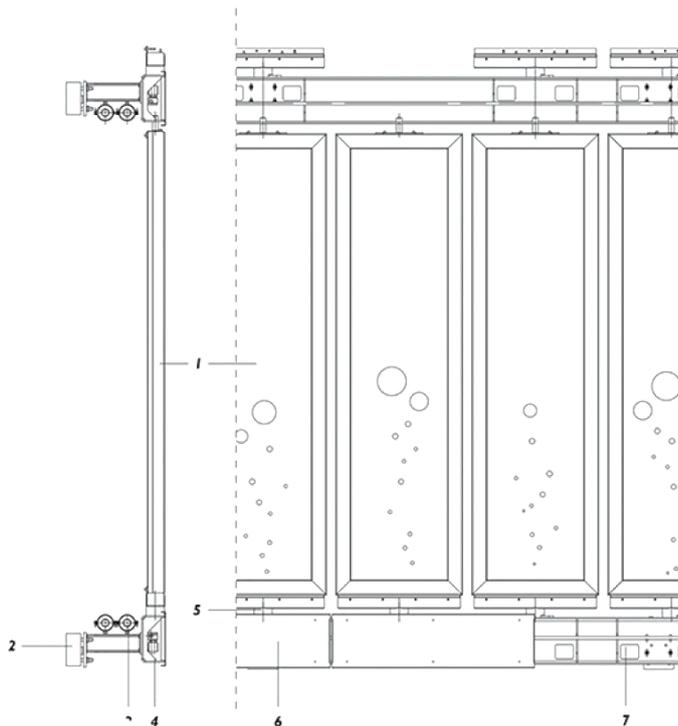
As algas são continuamente supridas com nutrientes e dióxido de carbono através de um circuito de água que atravessa a fachada. O efeito de estufa faz com que as algas submersas na água cresçam e se reproduzam rapidamente, gerando calor e biomassa. A radiação solar causa a fotossíntese das algas, transformando dióxido de carbono e nutrientes em biomassa. (Colt; Arup; SSC, 2013). Periodicamente, essa biomassa de microalgas é coletada através de filtros e enviada para um local externo, onde é fermentada para gerar biogás usado na produção de eletricidade, fora do edifício. O calor gerado nos painéis é enviado para um centro de gestão de energia totalmente automatizado, onde extrai o calor solar térmico. Em seguida, o calor armazenado é redistribuído no sistema de aquecimento para aquecer o edifício e a água. No verão, o aumento da exposição ao sol faz com que as microalgas se reproduzam mais, escurecendo os painéis e dando mais sombra às residências. A produtividade do sistema é de cerca de 15 g/m².dia de biomassa, o que ao final de um ano produz o equivalente a cerca de 4500 kWh de energia elétrica – o que equivale a aproximadamente o consumo anual de uma família com quatro pessoas (4000 kWh). (Colt; Arup; SSC, 2013)



6. Projeto BIQ House, com fachadas Solarleaf, em Hamburgo, Alemanha. Fonte: Colt International, Arup Deutschland, SSC GmbH.



7. Esquema representativo da produção energética com uma fachada SolarLeaf em Munique, Alemanha. Fonte: ARUP.



- 1 SolarLeaf, external louver
- 2 Brackets with thermal breaks for transfer of loads to primary construction
- 3 Inflow and outflow of medium
- 4 Subframe, rolled steel U-section
- 5 Pin fixing allowing rotation
- 6 Metal Cladding
- 7 Supply of pressurized air, controlled by magnetic valves



The bioreactive facade – principle construction methodology of the SolarLeaf

8. Pormenor construtivo da fachada SolarLeaf. Fonte: ARUP.

2. Materiais sintéticos

Um material sintético é totalmente produzido pelo Homem de forma artificial, por antagonismo aos materiais naturais, extraídos diretamente da Natureza. O *nylon*, o vidro, os plásticos e muitos outros materiais são feitos pelo Homem a partir de outros materiais. No entanto, muitos destes materiais não são sustentáveis e têm um forte impacto ambiental. O biomimetismo pode vir a contribuir de forma importante para solucionar este problema, ao permitir a criação de materiais sintéticos ecológicos, eficientes e inovadores.

Através de uma parceria com departamentos de biologia para adquirir informações específicas sobre o mundo natural, uma pesquisa desenvolvida por Liua e Jiang (2011) apresentou as funções de alguns organismos vivos que podem orientar a metodologia e a solução de problemas de design por analogia. (ver tabela 1)

Tabela 1 - Tabela de organismos naturais e as suas respetivas funções.

BIOLOGICAL MATERIAL	FUNCTIONS	AUTHORS
BUTTERFLY WING	Super-hydrophobicity Directional adhesion Structural color Chemical self-cleaning.	Y.M.Zheng, X.F. Gao, L. Jiang (2007) O. Sato, S. Kubo, Z.Z.Gu, Acc. Chem (2009)
NACRE	Mechanical properties, Structural color	X.F. Gao, X. Yan, X. Yao, L. Xu, K. Zhang, J. H. Zhang, B. Yang, L. Jiang (2007) G. Mayer (2005)
CIGARETTE WING	Anti-reflection Super-hydrophobicity	T.L. Sun, L. Feng, X.F. Gao, L. Jiang (2005)
SPIDER SILK	Mechanical properties of shrinkage Adhesiveness Elasticity	Y.M.Zheng, H. Bai, Z.S. Huang, X.L. Tian, F.Q. Nie, Y. Zhao, J. Zhai, L. Jiang (2010) N. Becker, E. Oroudjev, S. Mutz, J.P. Cleveland, F.K. Hansma, C.Y. Hayashi, D.E. Makarov, H.G. Hansma (2003) B.O. Swanson, T.A. Blackledge, C.Y. Hayash (2007)
THE LEG OF THE PASSOLARGO IN WATER	Durable Sturdy Super-hydrophobicity	X.F. Gao, L. Jiang (2004)
ROSE PETAL	Super-hydrophobicity, Structural color, High adhesion	L. feng, Y.A. Zhang, J.M. Xi, Y.Zhu, N. Wang, F. Xia, L. Jiang (2008) L. Feng, Y.A. Zhang, M.Z. Li, Y.M. Zheng, W.Z. Shen, L. Jiang (2010) B. Bhushan, E.K. Her (2010)

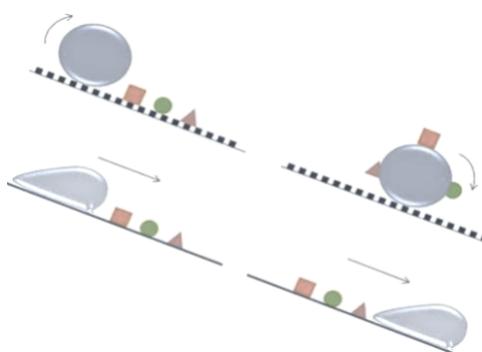
A grande vantagem da analogia funcional é que a identificação dessas funções permite a aplicação da estratégia encontrada em mais do que um tipo de sistema ou objeto, concebendo um maior número de soluções que podem ser aplicadas em diversos estudos. Alguns exemplos destes materiais sintéticos e respetivas referências ao mundo natural serão apresentados abaixo.

2.1 Materiais hidrofóbicos

No estudo da planta Lotus, o investigador Barthlott (VERSOS, 2010) identificou a capacidade de repelir a água e de autolimpeza das suas superfícies. Esta ocorrência deve-se ao ângulo de contacto da gota de água quando em contacto com a sua superfície; neste caso, o ângulo de contacto depende da relação entre a sua nano-estrutura e a dimensão da molécula de água que escoam na forma de gotas com aproximadamente esféricas. Durante o escoamento, coletam a sujidade das superfícies. Com isso, verificou-se que superfícies rugosas em nano escala são mais hidrofóbicas do que superfícies mais lisas. Na folha de lótus, a área de contato real é de apenas 2-3% da superfície das gotas.



9. Representação do contacto das gotas de água com a folha de lótus. Fonte: <http://naturezamisterioe curiosidades.blogspot.com/2014/09/a-folha-do-lotus.html>.



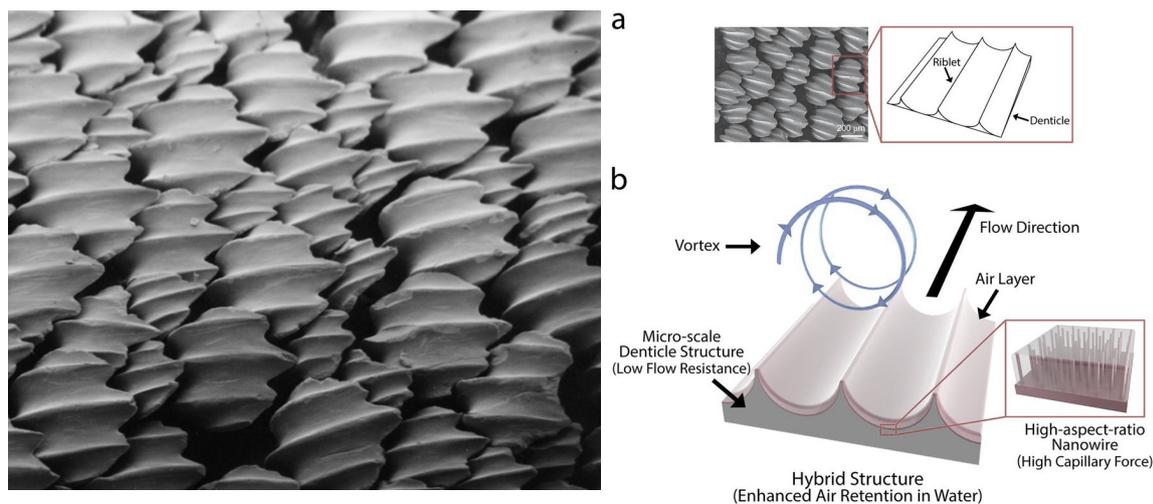
10. Esquema das partículas sob efeito lótus. Fonte: <https://betaeq.com.br/index.php/2015/10/24/efeito-lotus-a-tecnologia-que-proporciona-autolimpeza-para-as-superficies/>

Através da replicação dessas microestruturas e das funções identificadas de hidrofobia e autolimpeza, foram criados diversos materiais, aplicados comercialmente em produtos como tinta Lotusan e também por meio de sprays (BASF Lotus Spray) para as indústrias têxtil, da madeira e do vidro, simulando o mesmo efeito da planta. Na pintura, ao criar microsulcos, repele a água, simula a função de autolimpeza, permitindo que esta resista a manchas por um período de tempo que pode atingir algumas décadas (VERSOS, 2010).

Estas funcionalidades obviamente trazem vantagens na sua utilização na arquitetura, como por exemplo, podem ser aplicadas sob a forma de tinta no revestimento dos edifícios, no seu exterior ou interior, com uma maior resistência à humidade, possibilidade de serem laváveis ou utilizadas nas zonas húmidas (instalações sanitárias, cozinhas, exterior, etc.).

2.2 Materiais hidrodinâmicos

A partir do estudo e pesquisa das escamas de tubarão, que são responsáveis pelo desempenho da sua agilidade na água foi desenvolvido um material hidrodinâmico, um tecido chamado Fastskin (da empresa Speedo), agora usado em roupas de natação dos campeões olímpicos. A textura dessas roupas é baseada nos "dentículos" da pele do tubarão, que reduzem a resistência em cerca de 4% e também da vibração muscular, aumentando a velocidade e o desempenho dos atletas (Soares & Arruda, 2017)



11. Representação das microescamas de tubarão. Fonte: (SOARES, 2016)

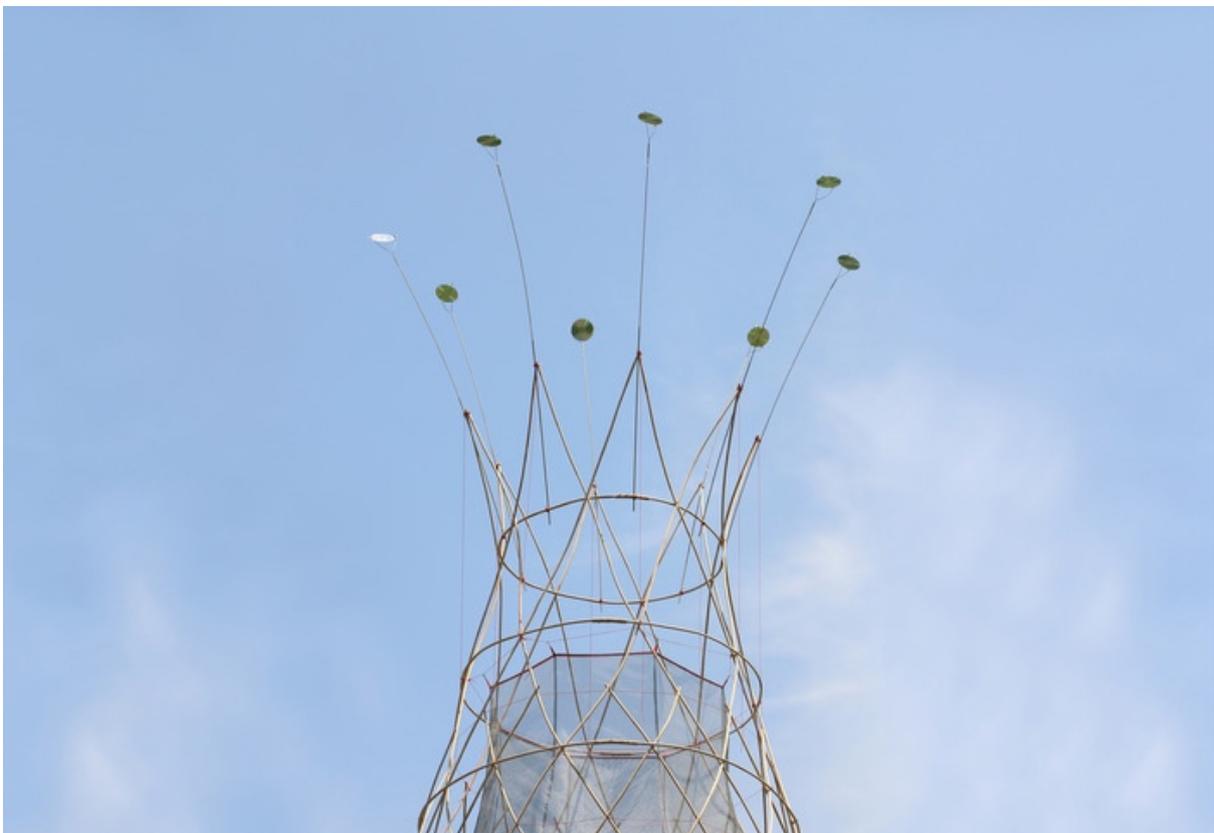
Nos tubarões, essas microescamas também impedem a fixação de pequenos crustáceos e algas, uma inspiração para revestimentos sintéticos que podem ser aplicados aos cascos dos navios, a fim de reduzir o atrito, economizar energia e também esse inconveniente biológico que causa manutenção, o que prova mais uma vez que a analogia funcional pode gerar aplicação em vários artefactos e não é limitada apenas na forma do animal investigado, mas na função que foi identificada e que se deseja replicar. Isto pode também ser aplicado na arquitetura das fachadas, reduzindo assim a manutenção das mesmas. (Soares & Arruda, 2017)

2.3 Materiais para captação de água - sistemas de retenção de água

O besouro do deserto ou no besouro da Namíbia, é um inseto amplamente investigado devido à sua capacidade de captura de água do ar através dos poros de sua concha. Quando o ar húmido passa pelas suas saliências e sulcos microscópicos, condensa e a água é canalizada em direção à boca, característica adaptativa que permite a sobrevivência no deserto.



13. Projeto Warka Water. Fonte: retirado de <https://www.hometeka.com.br/f5/warka-water-a-estrutura-que-gera-agua-potavel-a-partir-do-ar/>



12. Pormenor dos espelhos no topo da torre Warka Water. Fonte: retirado de <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/6-atitude/3101-waka-water-uma-maneira-simples-de-captar-agua-para-populacoes-carentes-da-africa.html>

Esta analogia funcional está sendo transferida para vários materiais e soluções arquitetônicas, um dos quais é produzido pela **QinetiQ** no Reino Unido, que desenvolveu uma **película plástica para reter água**, que funciona como um sistema de captação de água em regiões húmidas (FORNIÉS, 2012).

Uma aplicação semelhante deste mesmo estudo foi desenvolvida pelos arquitetos italianos Arturo Vittori e Andreas Vogler do estúdio Architecture and Vision, num projeto chamado **Warka Water**. É uma torre que permite que a água seja recolhida da atmosfera através de uma estrutura de 9 m feita de bambu e, assim, depositar a água num recipiente, capaz de capturar cerca de 100 litros de água por dia. (Soares & Arruda, 2017)

O **besouro namibiano**, as **folhas da flor de lótus**, os **fios da teia de aranha** e o **sistema integrado de coleta de névoa nos catos** foram algumas das referências biológicas para este projeto. Estas analogias foram traduzidas em materiais e revestimentos específicos que podem melhorar a condensação do orvalho e o fluxo de água, além de melhorar a capacidade de armazenamento da malha. Outra referência biológica citada que influenciou o design externo do produto, melhorando o fluxo de ar, foram as **colmeias de térmitas**. (Soares & Arruda, 2017)

A sua estrutura baseia-se principalmente em bambu, cordas de fibra natural e um revestimento interno que é uma malha feita de plástico reciclado com tecnologia de besouro para captar as gotas de orvalho que fluem para uma bacia dentro da torre. A trança de bambu proporciona leveza, resistência e estabilidade e é unida a pinos de metal e cânhamo. (Soares & Arruda, 2017)

Nas extremidades superiores existem pequenos espelhos que mantêm os pássaros afastados para evitar a contaminação da água. Toda a estrutura é modular, leve, de fácil montagem e baixo custo. Além dos benefícios mais óbvios, o projeto incorpora a cultura local e a arquitetura vernacular por meio de técnicas tradicionais de tecelagem etíope no produto. Além de melhorar as condições de vida dessas pessoas, também foi projetado para criar sombra, um espaço social que gera reuniões públicas de educação e interação social entre os moradores da comunidade, uma analogia também à árvore nativa da região, simbolicamente (figueira), que na língua africana local se chama Warka. (Soares & Arruda, 2017)

O projeto foi apresentado pela primeira vez na Bienal de Arquitetura de Veneza em 2012 e é direcionado a populações rurais de países em desenvolvimento, onde a infraestrutura para fornecer acesso a água potável segura é muito precária. (Soares & Arruda, 2017)

2.4 Materiais despoluentes e regenerativos do ambiente

Este exemplo apresenta o sistema arquitetônico modular para fachadas Prosolve370e, que pode efetivamente reduzir a poluição do ar nas cidades. O sistema consiste em módulos revestidos com uma camada super fina de dióxido de titânio (TiO_2), que pela suas propriedades fotocatalíticas, pode conferir às superfícies onde é aplicado propriedades de autolimpeza. O dióxido de titânio, pela sua composição, confere uma cor branca, sendo, por isso, usado como pigmento. (Soares & Arruda, 2017)

A reação com pequenas quantidades de luz UV e humidade natural permitem reduzir efetivamente os poluentes do ar em quantidades inofensivas de dióxido de carbono e água, quebrando e neutralizando os óxidos de nitrogénio e os compostos orgânicos voláteis no ambiente. Pode ser usado para vários fins, incluindo em vestuário e calçado (SOARES, 2016). A sua aplicação em arquitetura foi desenvolvida pelo escritório alemão Elegant Embellishments, que usou o Prosolve370e na fachada de um novo hospital em 2013, chamado Manuel Gea Gonzales Specialty Tower, na Cidade do México.

A fachada tem uma área de 2500m^2 com 100m de comprimento e está a auxiliar na redução da poluição, estimada em 1000 carros por dia (Elegant embellishments limited, 2020). (Soares & Arruda, 2017)

A referência ao padrão celular é clara na sua configuração, embora a empresa informe que as suas formas referem-se ao padrão de crescimento orgânico inspirado por fractais na natureza. As formas orgânicas não são apenas esteticamente atraentes, uma vez que as suas ondulações maximizam a área da superfície do revestimento ativo para difundir luz e poluição do ar. Ou seja, a complexidade da superfície permite uma maior eficiência na captura de luz omnidirecional, onde é densa ou escassa (SOARES, 2016).

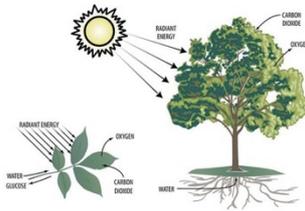
O sistema é composto por apenas dois módulos replicados e as suas partes podem ser adaptadas às necessidades do projeto (tamanhos e formatos). Para o hospital, essas peças foram produzidas num tecido de termoformação em Ulm, na Alemanha. O material utilizado foi plástico ABS termoformado, unido a fixadores de aço. A engenharia estrutural foi realizada por Buro Happold New York e o consultor técnico do projeto é o professor de física da Duke University, Joshua Socolar (SOARES, 2016).

Methods of Filtering

Here are examples of methods of filtering polluted air- naturally and also by man made engineering. There have been equipment made to purify air, here I will explore them and take ideas on board towards conceptualising my green air filtering facade

Photosynthesis

Photosynthesis is a process used by plants and other organisms to convert light energy normally from the sun into chemical energy that can be later released to fuel the organisms activities. This chemical energy is stored in carbohydrate molecules, such as sugars, which are synthesised from carbon dioxide and water- hence the name photosynthesis. In most cases, oxygen is also released as a waste product. Most plants, most algae, and cyanobacteria perform photosynthesis and such organisms are called photoautotrophs. Photosynthesis maintains atmospheric oxygen levels and supplies all of the organic compounds and most of the energy necessary for life on earth.



Air Tree

Air Tree, Public space air cleaner, a tree that limits itself only to cleanse the air. Its prepped up with some LED lights to create a warm ambience, and a seating ring at the base. The tree has an electronic fan (in the base) that sucks in ambient air and pumps it through the HEPA filters to remove all impurities. The refreshed air, the blows out from the top of the structure.



Prosolve370e

Prosolve370e is a decorative architectural module that can effectively reduce air pollution in cities when installed near traffic ways or on building facades.

The modules are coated with a superfine titanium dioxide a pollution fighting technology that is activated by ambient daylight, employing a unique configuration of this technology. The tiles neutralize air pollutants when sited near traffic or densely polluted conditions

Depolluting facades

The Prosolve 370e is proposed as a decorative facade module, with specifically developed joints that are able to translate the pattern to standard, off the shelf cladding equipment.

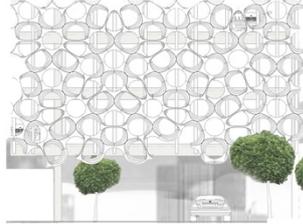
The tiles are made of a lightweight thermoformed fire rated ABS plastic shell, joined with standard steel fixings.

As a decorative module, the tiles have potential to regenerate aged facades, ornament a modernist facade, or provide an appealing face to buildings which lack identity or community significance.

Proposals for installations have ranged from carparks to mixed user housing to hospital facades.

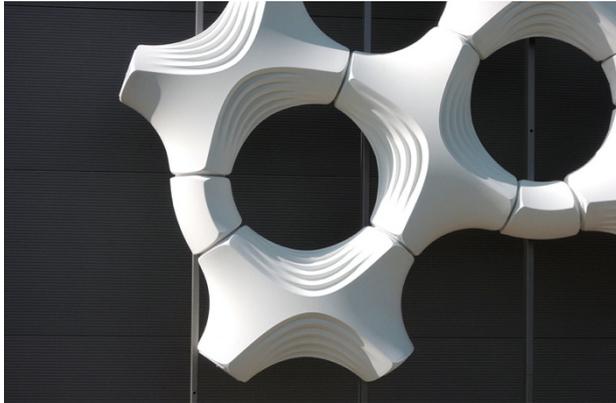
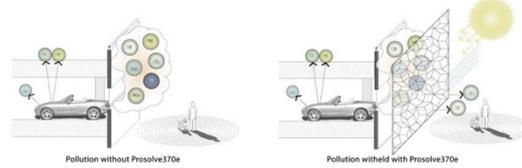
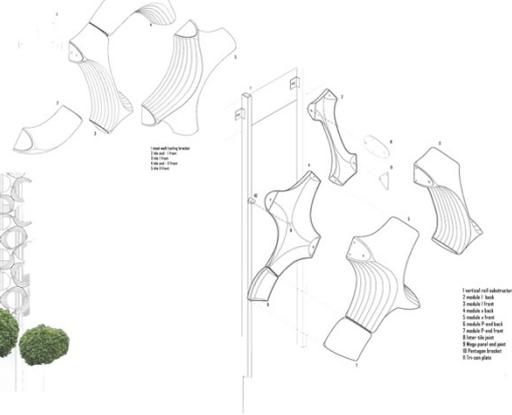
Elevation Proposal of using this method on a facade

Experimenting this on a facade to see how it function and work



The Prosolve370e

Axonomic Drawing of Prosolve370e



14. Sistema modular de fachadas Prosolve370e. Aplicação do sistema na fachada do hospital Manuel Gea Gonzales Specialty Tower, México. Fonte: (SOARES, 2016)

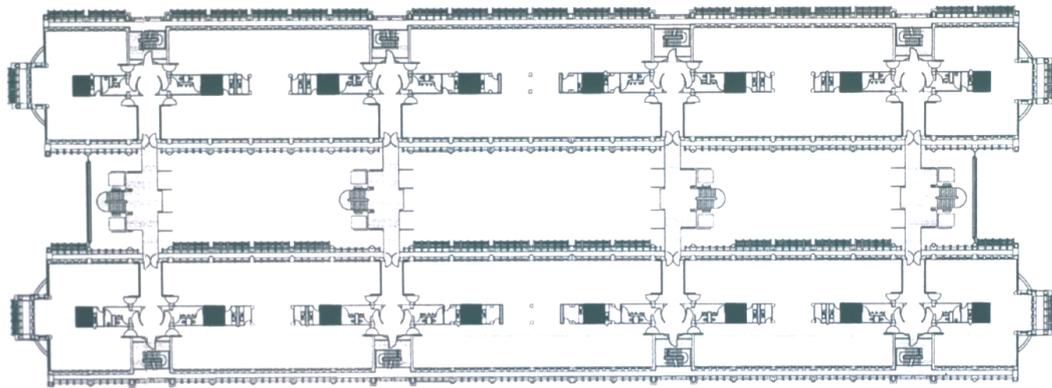
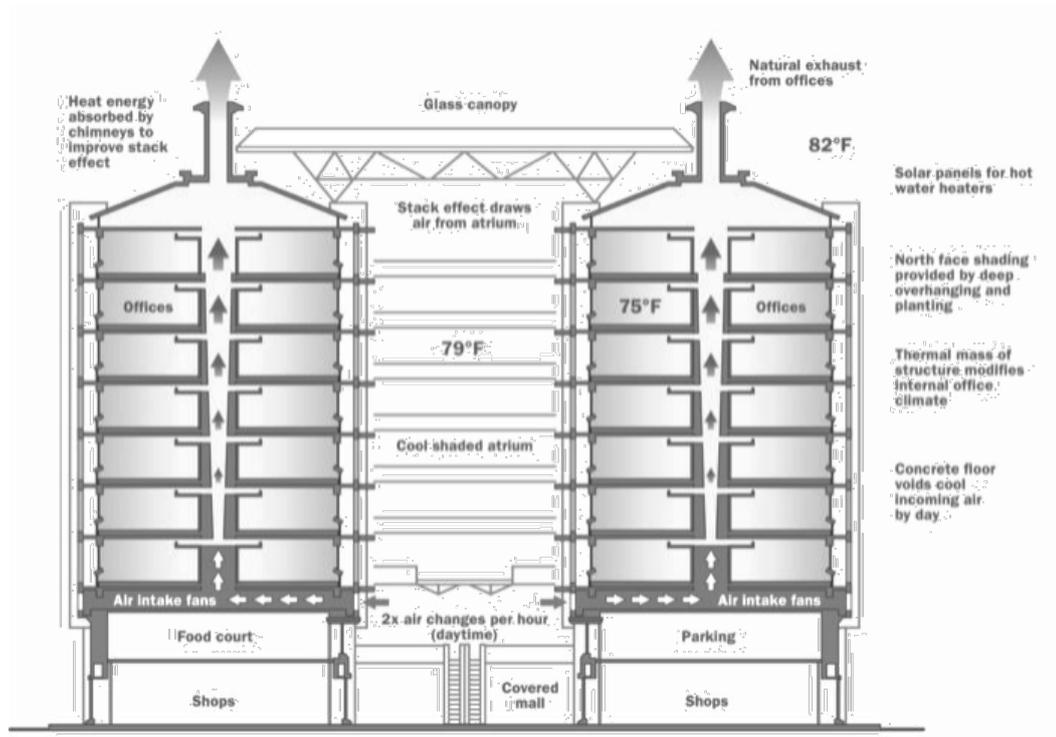
3. Sistemas de ventilação

A ventilação natural contribui para a otimização do conforto ambiental e da qualidade do ar interior das habitações. Um dos objetivos da ventilação dos edifícios é garantir a qualidade do ar nos espaços interiores ocupados, sobretudo quanto às boas condições de higiene e salubridade e manter o ar num estado higrométrico que possa evitar a ocorrência de condensações interiores. A ventilação das habitações deve ser geral e permanente, pois toda a atividade humana, desde a preparação dos alimentos, utilização das instalações sanitárias, uso do tabaco, combustão de aparelhos a gás, lavagem e secagem de loiça e de roupa e a própria atividade fisiológica humana, dão origem a grandes quantidades de odores, vapor de água, dióxido e monóxido de carbono.

Para além de manter a qualidade do ar, a ventilação tem como objetivo promover o conforto térmico no interior da habitação, sendo responsável pelo equilíbrio térmico entre os espaços. Os sistemas de ventilação, assim como de sombreamento e arrefecimento dos edifícios, têm uma influência direta na eficiência energética, uma vez que grande parte destes sistemas são sinónimo de grandes gastos energéticos, cuja importância e relevância para o estudo já foi explicada anteriormente. Já existem estudos baseados no biomimetismo sobre esta área, encontrando mesmo analogias na natureza que permitem a criação de sistemas sustentáveis.

3.1 Construções de térmitas

A proteção contra o calor é um aspeto essencial para projetar edifícios em zonas de clima quente como o deserto. As construções das térmitas mostram de forma impressionante como se adaptaram ao clima quente, realocando o seu principal espaço subterrâneo, em sistemas de vias subterrâneas com quilómetros de comprimento. Os canais conectam a estrutura acima do solo (que pode ter muitos metros de altura) a locais onde os alimentos podem ser encontrados. As formas de construção das térmitas diferem consoante as espécies, mas todas são baseadas num sofisticado sistema de climatização. O monte construído acima do solo é constituído por um material poroso, mas muito resistente, com um sistema de canais responsáveis pela ventilação, que permitem a entrada de ar fresco para os canais subterrâneos, ventilando o ninho em forma de cogumelo abaixo do monte, como demonstrado na figura abaixo. (Erdem Cuce, 2019)



15. Analogia com as construções de térmitas no edifício Eastgate Center, no Zimbabwe. Fonte: retirado de <https://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/>

Durante a noite, a corrente de ar é revertida e regenera o reservatório de ar frio. Alguns destes sistemas específicos utilizam canais profundos nas águas subterrâneas que permitem um maior arrefecimento obtido através da evaporação da água.

O princípio existente nos montes das térmitas foi traduzido para um modelo de sistema de ventilação passiva eficaz para o controle da climatização interior dos edifícios. O **Eastgate Center**, no Zimbábue, recorre a um conceito semelhante. (Paul, 2013) A massa de betão do edifício aquece ou arrefece o ar que entra no edifício, dependendo de qual tem a temperatura mais elevada. (Erdem Cuce, 2019)

Como nos montes de térmitas, o ar entra no edifício nos pisos inferiores e nos escritórios antes de escapar pelas chaminés no topo. Este sistema reduz o consumo de energia deste edifício para menos de 10% de um edifício convencional. Através deste processo a temperatura interior varia apenas entre 21 °C e 25 °C, enquanto no exterior a amplitude térmica é bastante superior com temperaturas que normalmente variam entre 5 °C e 33 °C (Pawlyn, 2011, p. 84).

3.2 *Euplectella aspergillum*

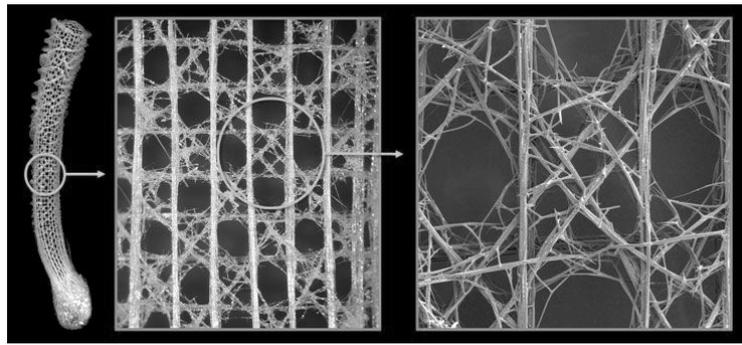
A *Euplectella aspergillum* é uma esponja cilíndrica que vive em águas tropicais profundas. O seu exosqueleto é constituído por dióxido de silício amorfo hidratado, e a integridade estrutural do corpo deve-se a uma complexa rede de espículas que suporta a estrutura e a ancora ao fundo do oceano. Essas fibras, de 5 a 10 cm de comprimento e com espessura perto de 1mm, apresentam uma grande resistência e eficácia a nível estrutural. (Brown, D, & R., 2019)

Os Bell Labs da Lucent Technologies estudaram a estrutura da esponja e identificaram sete níveis estruturais e hierárquicos, cada um correspondendo a um princípio fundamental de que a construção é composta. Por exemplo, as fibras do esqueleto encontram-se organizadas segundo uma rede composta por peças cruzadas com reforço diagonal, que permitem uma elevada resistência. Essa malha é frequentemente utilizada em estruturas em madeira para construções em altura ou em elementos próprios sujeitos a forças de tração. (Brown, D, & R., 2019)

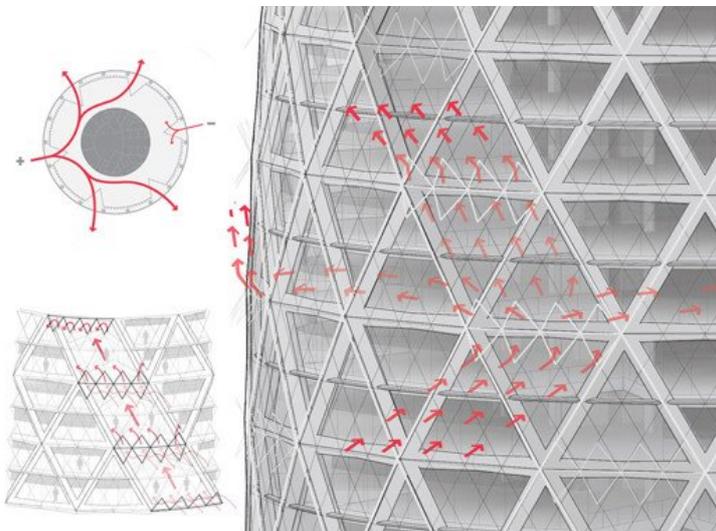
A arquitetura da torre de Norman Foster, erguida em Londres, foi inspirada na estrutura dessa esponja, cujo esqueleto se distingue por uma rigidez mecânica e



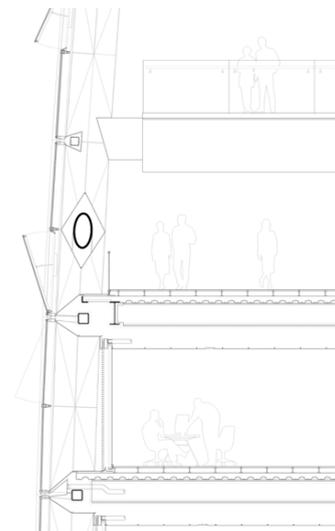
16. *Euplectella aspergillum*. Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Venus%27_flower_basket



17. Estrutura da *Euplectella aspergillum*. Fonte: <https://wyss.harvard.edu/>



19. 30 St Mary Axe, Swiss Re Headquarters. Fonte: <https://www.miesarch.com/work/1683>



18. Pormenor construtivo da na torre 30 St Mary Ax. Fonte: Norman Foster



20. 30 St Mary Axe, Swiss Re Headquarters. Fonte: <https://www.miesarch.com/work/1683>



21. 30 St Mary Axe, Entrada principal. Fonte: <https://www.miesarch.com/work/1683>

uma estabilidade interessante para um material muito frágil. Além disso, o sistema de ventilação do edifício **imita a forma como a esponja circula a água para obter nutrientes.**

O arranha-céu icónico do Reino Unido 30 St Mary Ax, mais conhecido como "The Gherkin", foi projetado pelo famoso arquiteto Norman Foster, com a construção concluída em 2003. Tem 180 metros de altura e 41 pisos no total, e distingue-se pela sua forma cilíndrica, cuja estrutura se expande levemente para fora à medida que se eleva do solo e afunila num ponto.

O Gherkin foi projetado para ter ventilação natural, através de aberturas nos pisos (átrios) inspiradas no sistema de circulação de água nas esponjas, que permitem a circulação de ar entre os pisos. Cada andar possui seis desses átrios, distribuídos pelos vários pisos seguindo a estrutura de treliça diagonal. O ar é admitido através de uma fachada ventilada, com um vidro duplo, que também contribui para o isolamento térmico do espaço do escritório.

4. Sistemas de sombreamento

A fachada faz parte do tecido urbano que constrói a cidade. Ao longo da história da arquitetura, a maior preocupação no tratamento da fachada foi o impacto visual. É um componente crucial para atender às necessidades da atualidade, mas é necessário que este seja mais do que apenas um elemento arquitetónico vertical estático. Foi neste sentido que surgiu o conceito de fachada dinâmica, que se relaciona com a envolvente de forma ativa, através da luz solar, ventos, ou tecnologia, minimizando o consumo energético e impacte ambiental, para participar numa procura ativa de tornar a arquitetura sustentável.

É incontestável que a fachada na arquitetura atualmente é tão complexa quanto a estrutura do edifício, uma vez que atua como filtro entre o interior e o exterior, e as tecnologias atuais permitem atribuir à fachada funções e propriedades que antes eram impossíveis. (Sandak, Sandak, Marcin, & Kutnar, 2019)

4.1 *Oxalis triangularis*

Oxalis triangularis, comumente chamado de trevo falso, é uma espécie de planta perene comestível da família *Oxalidaceae*. As folhas de *O. triangularis* movem-se em resposta aos níveis de luz, abrindo sob níveis elevados de luz ambiente (durante o dia) e fechando em níveis de luz reduzidos (à noite). Durante esse movimento, as folhas dobram-se ao nível da veia central. Esta planta foi estudada e conseqüentemente foi desenvolvida uma tecnologia que permitiu a sua aplicação na arquitetura, como é exemplo o edifício central do Campus Kolding da Universidade do Sul da Dinamarca.



22. Planta *Oxalis triangularis*. Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Oxalis_Triangularis_Photonasty_Timelapse.ogv

Este foi um dos primeiros edifícios do país com fachadas responsivas, equipado com um inovador sistema de sombreamento dinâmico, que se auto ajusta de acordo com o ângulo de incidência e intensidade dos raios solares. As fachadas são constituídas por 1600 painéis triangulares perfurados basculantes, fabricados em aço. Um conjunto de sensores determina a regulação individual e automática de cada painel, permitindo a manutenção de condições climáticas ótimas no interior do edifício. (engenhariacivil.com, 2020)



23. Edifício central do Campus Kolding, Universidade do Sul da Dinamarca. Fonte: <https://www.engenhariacivil.com/edificio-fachadas-responsivas>



24. Pormenor da fachada do edifício central do Campus Kolding, Universidade do Sul da Dinamarca. Fonte: <https://www.engenhariacivil.com/edificio-fachadas-responsivas>

5. Processo de Design

Janine Benyus, pioneira do biomimetismo moderno, teve uma grande influência no desenvolvimento desta disciplina, principalmente nos Estados Unidos. A inspiração fornecida por Benyus levou à criação do Biomimicry 3.8 Institute, uma organização dedicada à educação, desenvolvimento de conhecimento biológico e defesa dos benefícios do biomimetismo. O instituto também desenvolveu e continua a manter o banco de dados *on-line* de soluções de design, AskNature.org.

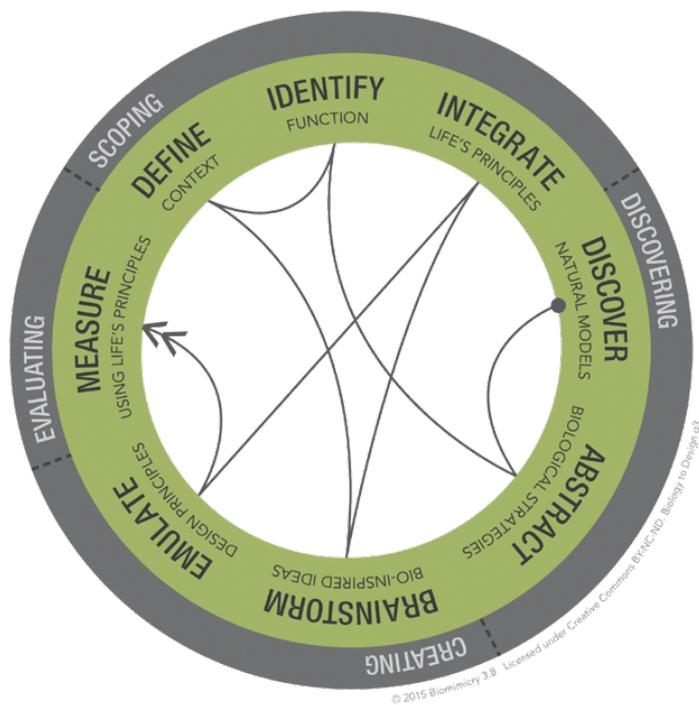
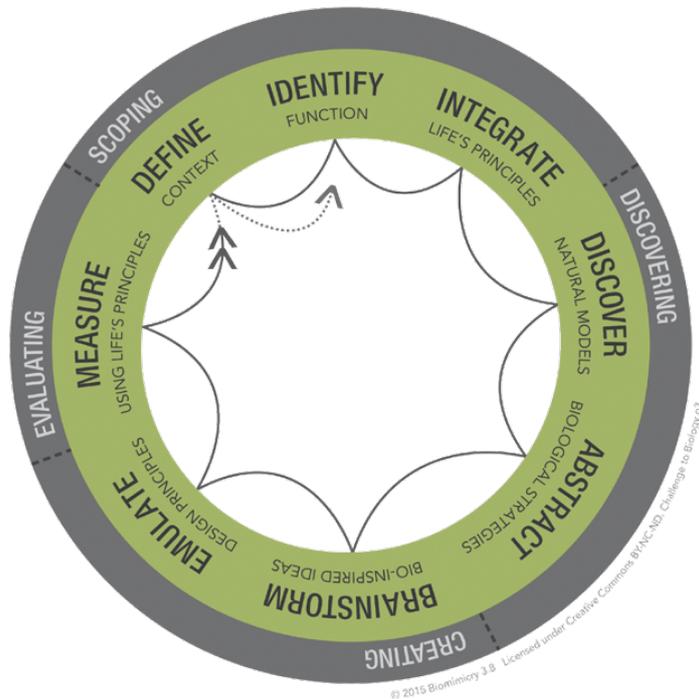
A **Biomimicry Design Lens** é uma estrutura criada pelo Biomimicry 3.8 Institute que permite contextualizar o biomimetismo dentro de um processo de design, que consiste em três componentes principais: **elementos essenciais; princípios da vida; pensamento biomimético.**

Os "elementos essenciais" expressam os ideais de respeito e responsabilidade pelo ambiente natural e enfatizam uma conexão profunda entre a sociedade humana e o mundo natural.

"Princípios da vida" expressa as estratégias gerais que permitiram que a vida fosse bem-sucedida na sua evolução e sobrevivência sustentada no planeta Terra: evoluir para sobreviver; adaptar-se a mudanças de condições; estar localmente sintonizado e receptivo; utilizar química amigável para a vida; ser eficiente em termos de recursos (material e energia); integrar desenvolvimento com crescimento.

O "pensamento biomimético" é o elemento que expressa o objetivo de traduzir e aplicar funções e estratégias naturais a um design, mantendo-se atento à visão geral de desenvolvimento e coexistência humana sustentável.

A **Biomimicry Design Lens** procura orientar a integração da biologia no design, onde são identificadas as **duas potenciais metodologias** de trabalho. O primeiro, "desafio à biologia" (Challenge to biology), é um procedimento mais convencional, em que um designer visa aperfeiçoar um design específico ou resolver um problema de design através da observação da natureza. Como alternativa, o método "biologia para projetar" (Biology to design) identifica uma característica útil da natureza, que é abstraída e traduzida para um contexto tecnológico, para que o objeto de intervenção e o objetivo exatos do projeto sejam identificados.



25. Esquema 'Challenge to biology'. Fonte: Biomimicry 3.8.

26. Esquema 'Biology to design'. Fonte: Biomimicry 3.8.

Processo de Projeto de Engenharia

O Processo de Projeto de Engenharia oferece aos engenheiros um método estruturado para projetar um produto para atender a uma meta de projeto específica e é flexível o suficiente para acomodar uma abordagem baseada no biomimetismo. O Processo de Projeto de Engenharia pode fornecer algum rigor ao projeto definindo o que o projeto deve alcançar, como essa conquista é medida, como comparar ideias.

Na fase de debate de ideias criativas, os designers são desafiados a pensar de maneira não convencional, onde são incentivados a procurar ideias de sistemas naturais para atingir a meta de design bem definida. No entanto, embora o Processo de Projeto de Engenharia possa ser útil, o projetista é obrigado a exercer julgamento por toda a parte, particularmente em relação à fase de tradução, construindo modelos de desempenho adequados e decidindo sobre um projeto específico. Ao traduzir um projeto da biologia para a tecnologia, é fundamental manter as características físicas (ou químicas) como entendidas pela ciência biológica atual. Se isso não for alcançado, as vantagens funcionais podem ser perdidas.

6. Metodologias de Aplicação

A aplicação do biomimetismo é então um processo de três etapas: Pesquisa - Abstração - Implementação (Pohl G, 2015). Existem duas abordagens principais para o processo de design: a abordagem baseada na problemática e a abordagem baseada na solução. A abordagem baseada na problemática é designada como 'Challenge to biology', e é baseada na identificação de objetivos e na limitação do design. O projetista dessa abordagem começa pela identificação do problema e, em seguida, procura soluções em organismos naturais. Os biólogos e designers combinam o problema com um organismo que resolveu um problema semelhante.

A outra abordagem, baseada na solução, é chamada de 'Biology to design', usada quando o princípio biológico é a fonte das ideias de design. O processo de design depende originalmente do conhecimento científico de biólogos e cientistas, em vez de problemas de design humano. O designer identifica uma característica útil da natureza, que é abstraída e traduzida para um contexto tecnológico antes que o objetivo do design seja definido. Para o objetivo deste trabalho, foi utilizada a abordagem 'Challenge to Biology'.

Caso de estudo

A investigação desta temática surgiu da hipótese da sua pertinência na aplicação ao caso de estudo principal. O local objeto de estudo está localizado na Cidade Universitária, em Lisboa. O sítio de intervenção é um lote que corresponde atualmente a um parque de estacionamento, que tem como limites: a sul o ISCTE, a este a Biblioteca Nacional, a oeste a Faculdade de Medicina Dentária e, por fim, a norte, o Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

Neste capítulo será explicada a investigação e trabalho desenvolvido ao longo do ano letivo, nomeadamente o exercício pedido, a interpretação do local, a estratégia de grupo e a solução de projeto individual na sua relação com a componente de investigação teórica.

1. Enquadramento

O trabalho de projeto está organizado em duas etapas. A primeira etapa é uma fase de grupo, a qual pode ser considerada uma estratégia urbana de intervenção, a nível da relação do espaço de intervenção e a sua envolvente, a cidade universitária. Face a um terreno, aparentemente descontextualizado e “descontínuo” da cidade de Lisboa, foi pedido uma ideia arquitetónica que desse um novo sentido de integração a esse espaço e criar uma outra dinâmica, sobretudo no que diz respeito ao espaço público. Nesta fase é resultante uma volumetria arquitetónica e o conceito geral do projeto.

Numa segunda etapa, o programa é dividido em 3 focos principais que são desenvolvidos de forma individual, sem descurar o projeto principal. O desenvolvimento deste projeto pressupõe a aplicação da componente teórica de investigação – fachadas biomiméticas regenerativas.

Ainda, dentro da linha de trabalho desenvolvida neste ano, é de salientar a realização de um workshop, na semana de dois a seis de março de 2020, em conjunto com três ateliers de arquitetura, RUA, EXTRASTUDIO E A EMBAIXADA, que contou com a participação de todas as turmas de PFA. Os conhecimentos obtidos neste workshop tiveram um papel fundamental para o desenvolvimento deste projeto, por lançarem uma linha de pensamento muito similar, nomeadamente a nível da intervenção em espaço público.

Os alunos de PFA foram divididos em grupos de trabalho de cinco alunos e orientados por cada um dos ateliers, resultante em três grupos por atelier.



27. Mapa de localização: Lisboa, Cidade Universitária. Fonte: elaborado pela autora.

1.1 Workshop

O exercício proposto pelos EXTRASTUDIO pretendia a intervenção num lote de prédios localizados na Quinta do Morgado, nos Olivais Norte. Localizado em Lisboa, nas proximidades do Aeroporto, este bairro planeado pelo arquiteto Alberto Raes Pinto e contruído pela ICESA, encontra-se limitado pelo complexo habitacional da Portela e pela Avenida DR. Alfredo Bensaúde a nordeste, e pelo bairro da Encarnação a sul. Ocupa uma área urbana de cerca de 20 hectares e desenvolve-se numa zona plana, aspeto importante no desenho da implantação e na inserção dos edifícios, construídos com recurso a pré-fabricação total e pesada.

O planeamento, desenho e construção do complexo residencial da Quinta do Morgado resulta de um concurso realizado pela Câmara Municipal de Lisboa com o objetivo de responder ao problema de habitação das classes mais modestas do Município de Lisboa. A proposta vencedora apoia-se na produção pré-fabricada de habitação coletiva, com mil cento e quarenta fogos, permitindo alojar quatro mil e quinhentas pessoas que viviam em casas camarárias, e integrando-se no programa de substituição e eliminação de centenas de barracas. Promove-se uma obra de grande alcance social, de rápida execução, ao menor preço possível e em tempo recorde.

O plano urbano da Quinta do Morgado é composto por áreas residenciais, com edifícios de habitação em torre e em banda, equipamentos coletivos, como campos de ténis e piscinas, e espaços públicos tais como a Praça Carlos Ramos e a Praça Cottinelli Telmo.

Este tipo de construção pré-fabricada tem uma influência direta na aparência modular deste conjunto habitacional. A primeira visita a este local e a primeira imagem é de um espaço público de pouca qualidade: métrica estranha do edifício resultante da sua pré-fabricação, entrada pouco convidativa, pé direito muito baixo e espaço muito escuro. Tipologias muito pequenas.

Foi pedida uma intervenção naquela torre-tipo para reestruturar e melhorar o modo de vivência naquele espaço. Uma das condições relativas ao exercício eram: assegurar o cumprimento das normas de segurança contra incêndios e um reforço estrutural ao prédio.

A nossa intervenção foi baseada no conceito de manter a estrutura do edifício, mas reorganizá-la de forma modular. Ou seja, mantendo a métrica da estrutura existente, mas regularizar a mesma, utilizando o **quadrado** como forma base, ou seja, a proporção 1:1.



28. Mapa de localização: Lisboa, Quinta do Morgado. Fonte: elaborado pela autora.

Esta reestruturação permitiu a criação de novas tipologias, utilizando também o quadrado como módulo. Foram criadas tipologias t1, t2 e t3 duplex. Estes tipos de tipologias também foram pensados consoante o modo de vida atual, tanto para habitação temporária, casais ou como para famílias.

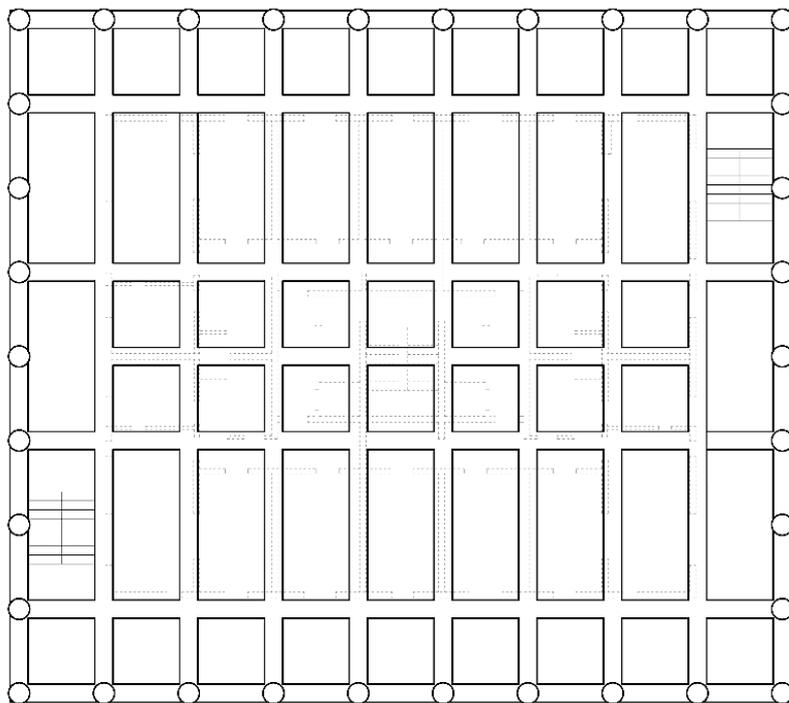
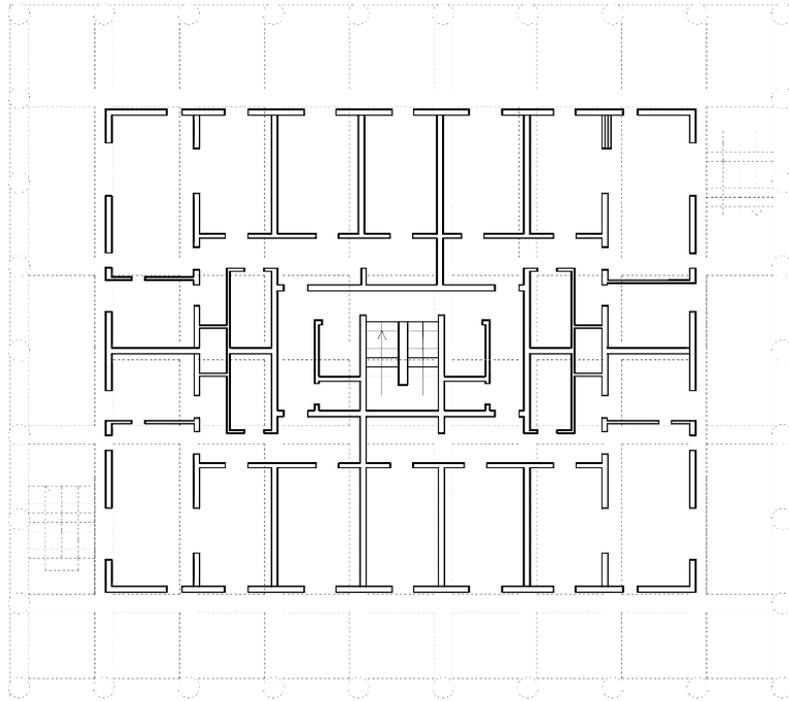
A métrica do quadrado foi levada ao extremo, aparecendo também em alçado. Ou seja, a métrica pilar-viga

Para além disso, criamos aquela "casca" que envolve o prédio, numa lógica de coluna invertida, para dar uma maior sensação de peso ao edifício. Esta casca originou espaços de galeria – o espaço público que envolve o edifício, e percorre desde o piso térreo até à cobertura. Os acessos às tipologias são feitos através destas galerias.

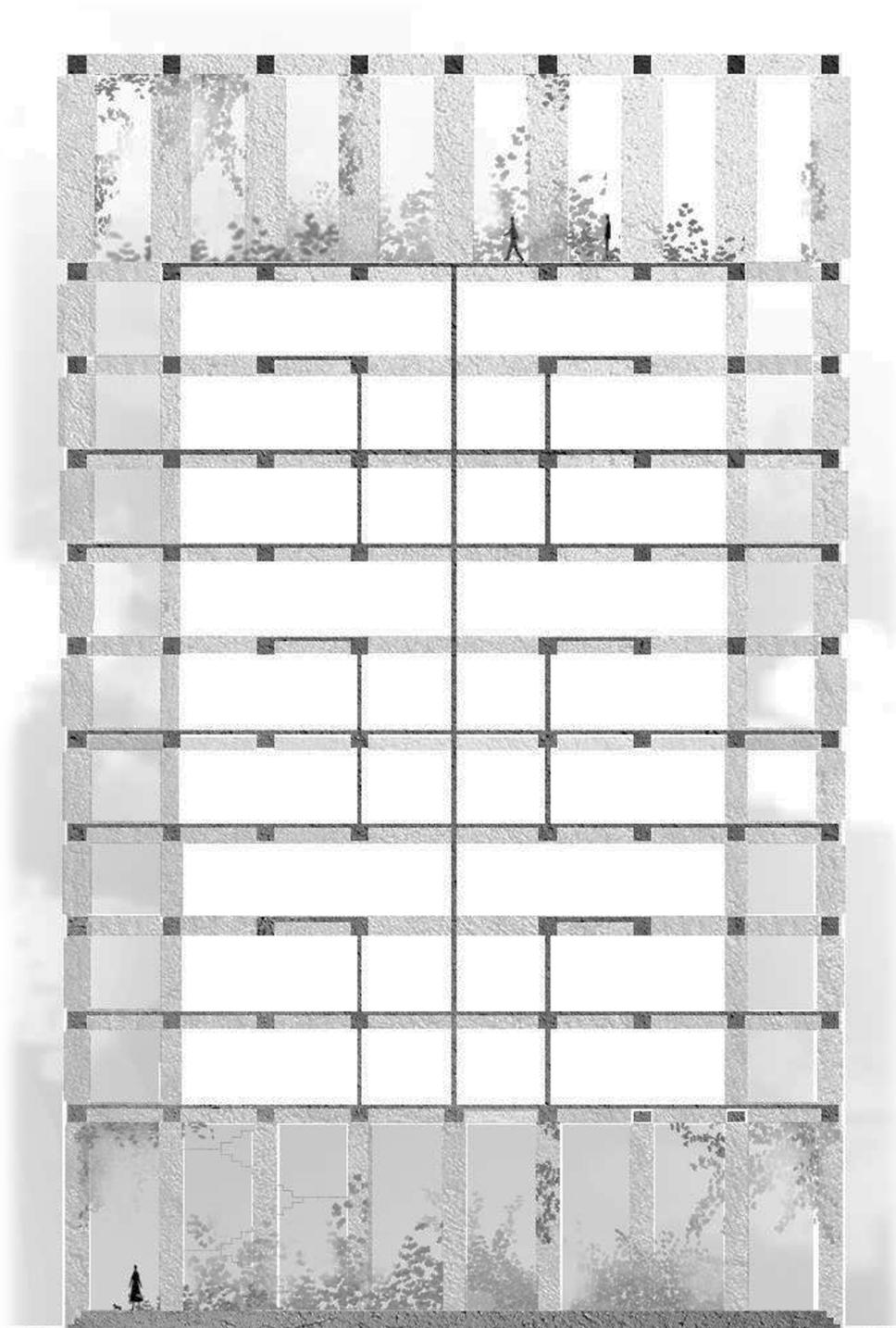
O piso térreo e a cobertura são supostos espaços públicos para aumentar a convivência daquele bairro. Também temos a ideia de trazer o espaço verde para estes dois locais, para melhorar a qualidade do mesmo. Para solucionar o piso térreo, foi aumentado o pé direito, tornando neste um espaço de convívio, assim como o espaço de cobertura, para trazer um novo conceito de viver a cobertura dos prédios

Em suma, o conceito preliminar desta proposta foi a regularização baseada numa métrica quadrangular, que aposta numa reestruturação do espaço, e numa maior aposta no espaço público. Tanto o enfoque nos pé-direito duplos para gerar uma hierarquia de espaços, a criação das galerias que permitem uma relação diferente de espaço interior-exterior, e a aposta nos espaços verdes, escassos neste local.

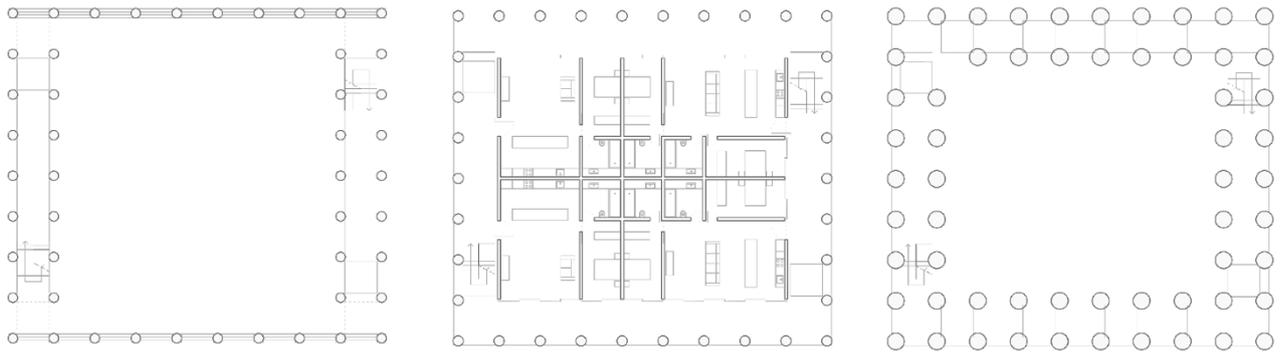
A ideia de intervenção de espaço público também pressupõe a retirada dos carros e parques de estacionamento, e substituí-los por espaços verdes públicos de logradouro. A mudança destes locais pretende com que sejam mais atrativos para uma população mais jovem que possa vir trazer um novo modo de vida a este local, em comunidade.



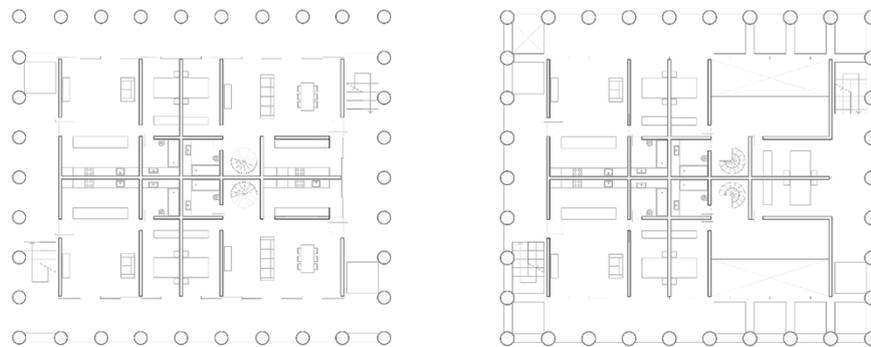
29. Torre. Planta do piso térreo e cobertura, respetivamente. Existente vs Proposto. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.



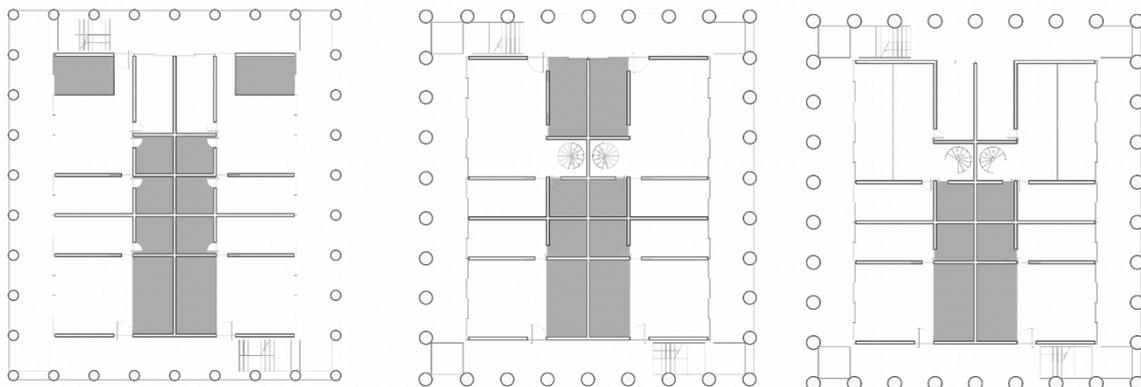
30. Torre. Corte transversal. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.



32. À esquerda, é possível observar a planta de piso térreo, ao meio a planta tipo T1+T2, e à direita a planta de cobertura.
 Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.



31. Torre. Planta tipo T1+T3 duplex primeiro piso, e planta tipo T1+T3 duplex segundo piso. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.



33. Torre. Plantas de zonas húmidas, por tipologia. Fonte: elaborado pelo grupo de workshop.

2. Programa

Escola de sustentabilidade (formação ao longo da vida)
Residência escolar
Centro de incubação e empreendedorismo
Centro transdisciplinar sócio tecnológico (fablab, maker space, repair shop, library of things)
Comércio
Produção alimentar
Áreas verdes
Espaço público urbano

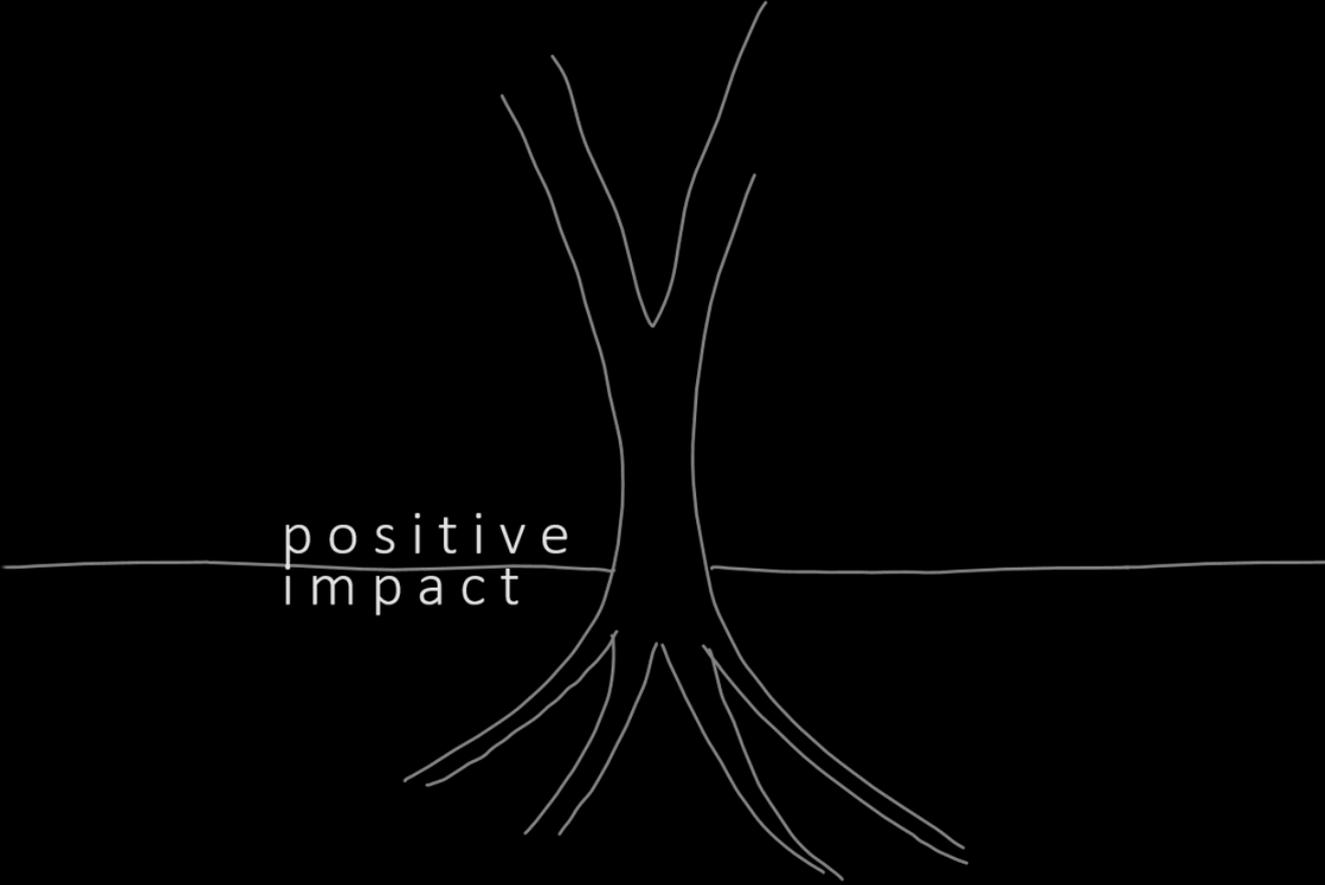
O programa pedido exigia um novo pensamento crítico sobre o modo de construir atual, com a ambição de contruir uma proposta de impacte ambiental positivo: POSITIVE IMPACT PROJECT.

Pelas razões já enumeradas anteriormente, tais como o aumento demográfico, a economia em expansão, segurança alimentar, produção de energia, é urgente que a arquitetura tome medidas para participar ativamente na regeneração do ambiente. O programa proposto, pretende contribuir exatamente para esse propósito: habitar integrando atos humanos e naturais criando impacte positivo nos ecossistemas.

A educação é tida como um dos meios principais para o combate à pobreza e desigualdade mundial. Deste modo, uma das partes principais do programa proposto é uma Escola de sustentabilidade (Sustainability School 1). Outro dos polos principais é a construção de uma Residência escolar (Student Housing 2) e um Centro de empreendedorismo transdisciplinar (Socio-Tech Centre 3).

Na conceção deste programa também foi pedido a integração de conceitos como: **ciclo de vida dos materiais, reaproveitamento de água, energia renovável, mobilidade sustentável, maior biodiversidade, produção alimentar, economia circular e gestão de resíduos.**

Na segunda fase da proposta apresentada, entramos no domínio mais específico do nosso trabalho de projeto. Destaca-se, neste ponto, o cariz individual, subjetivo, criativo e a leitura pessoal e personalizada que fazemos da situação proposta. Neste trabalho é desenvolvido o *Socio-Tech Centre*, onde é aplicada a solução de projeto resultante da investigação teórica: a fachada biomimética regenerativa, que é o elemento de ligação entre os três projetos.



positive
impact

Escolas Universidade de Lisboa

- Faculdade de Ciências 1
- Faculdade de Direito 2
- Faculdade de Farmácia 3
- Faculdade de Letras 4
- Faculdade de Medicina 5
- Faculdade de Medicina Dentária 6
- Faculdade de Psicologia 7
- Instituto de Ciências Sociais 8
- Instituto de Educação 9
- Instituto de Geografia e Ordenamento do Território 10

Serviços Centrais da Universidade de Lisboa

- Reitoria 11
- Serviços de Ação Social 12
- Estádio Universitário 13
- Cantina Velha 14

Outras instituições de ensino superior

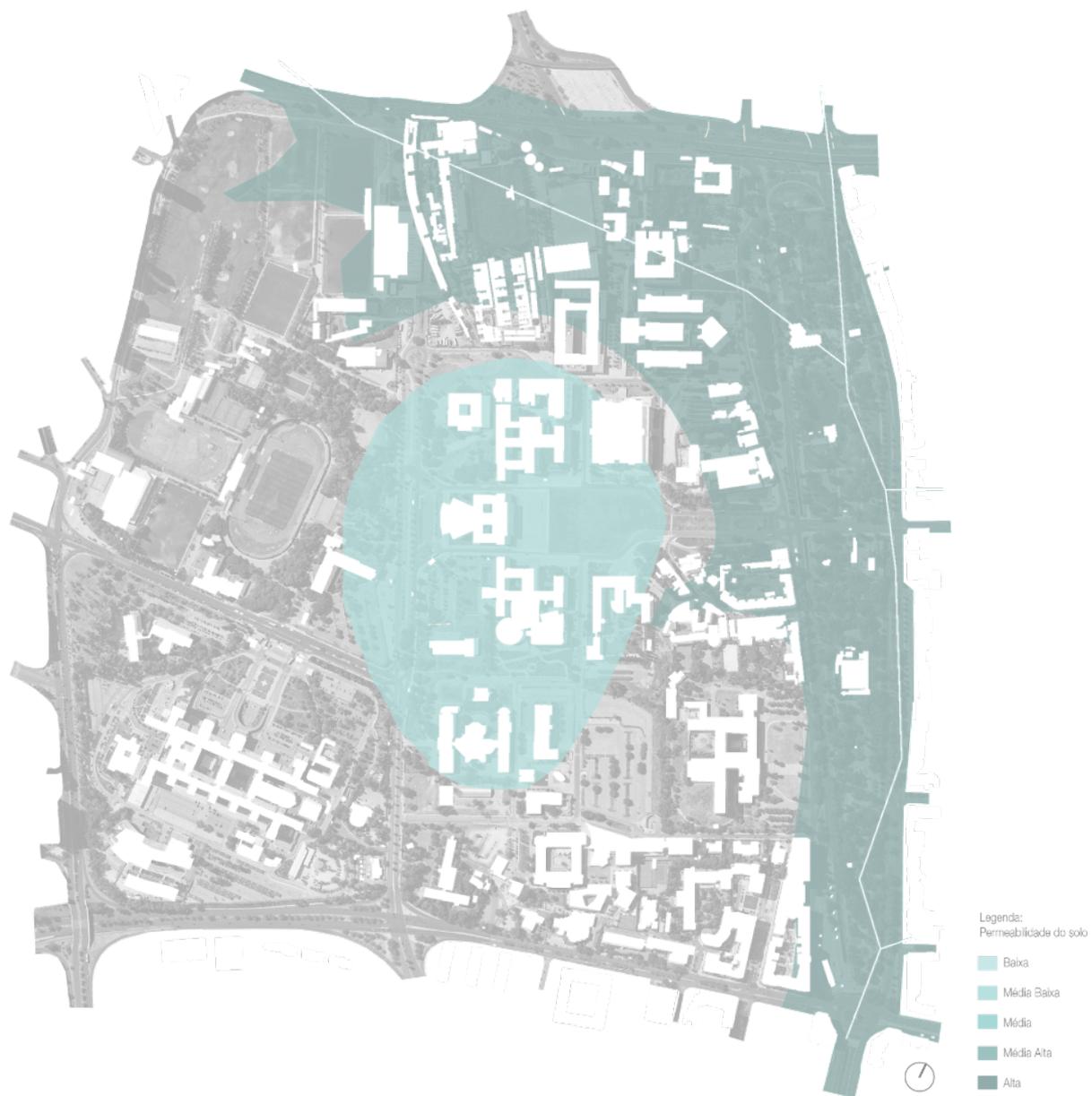
- ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa 15
- Universidade Católica Portuguesa 16
- Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias 17

Outras instituições culturais e desportivas

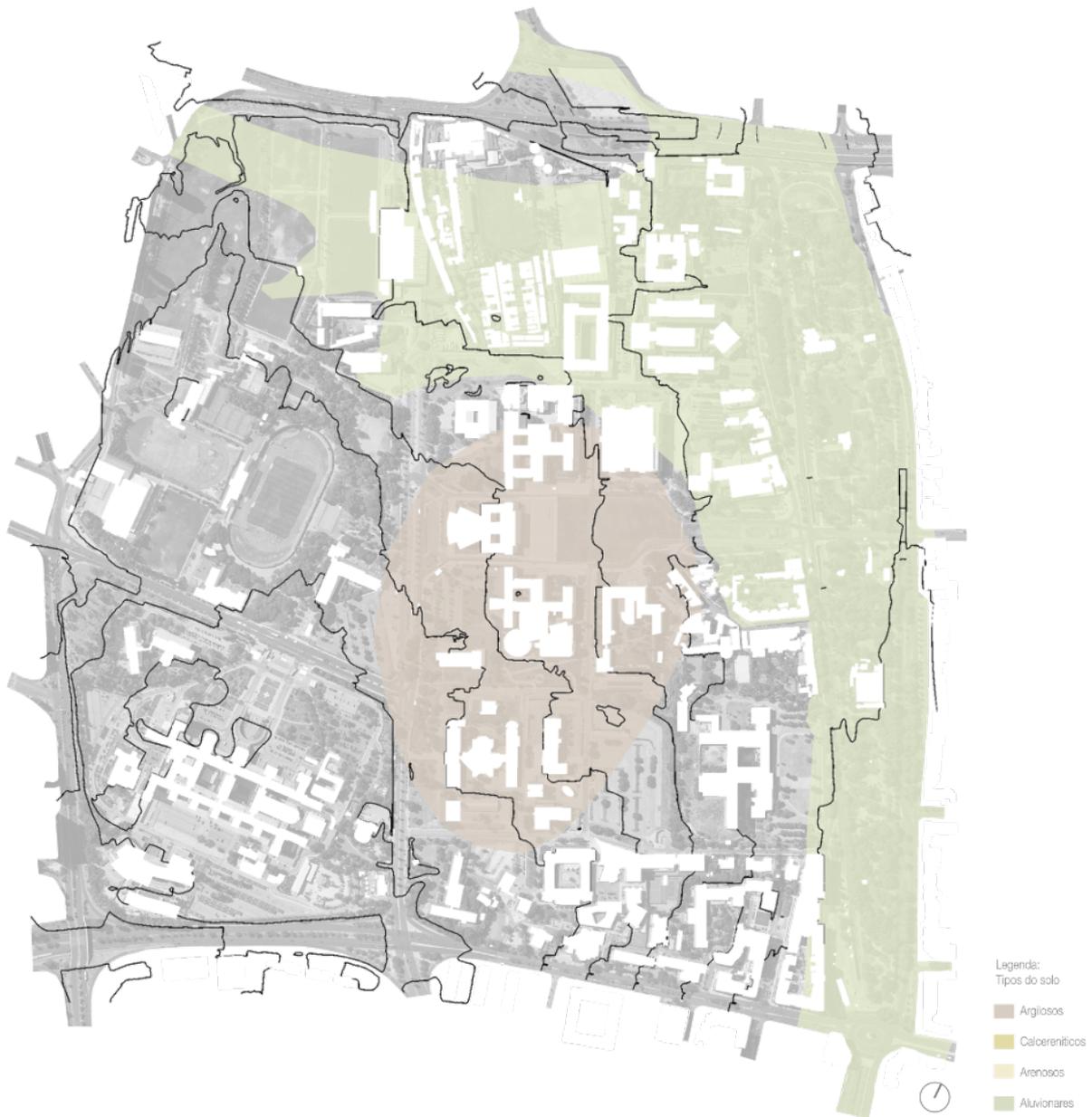
- Biblioteca Nacional de Portugal 18
- Torre do Tombo 19
- Museu da Cidade 20



34. Planta de localização, Cidade Universitária. Fonte: elaborado pela autora.



35. Planta de permeabilidade do solo e linhas de água. Fonte: elaborado pela autora.



36. Planta de topografia e tipos de solo. Fonte: elaborado pela autora.

3. A leitura do lugar e sua contextualização territorial

A primeira proposta referente à criação da Cidade Universitária de Lisboa (CUL) surge na década de 30, com o objetivo de concentrar os edifícios da Universidade de Lisboa numa mesma área. Mas só em 1960, com a aprovação do plano do arquiteto Pardal Monteiro de 1957, foram instituídos os limites do campus.

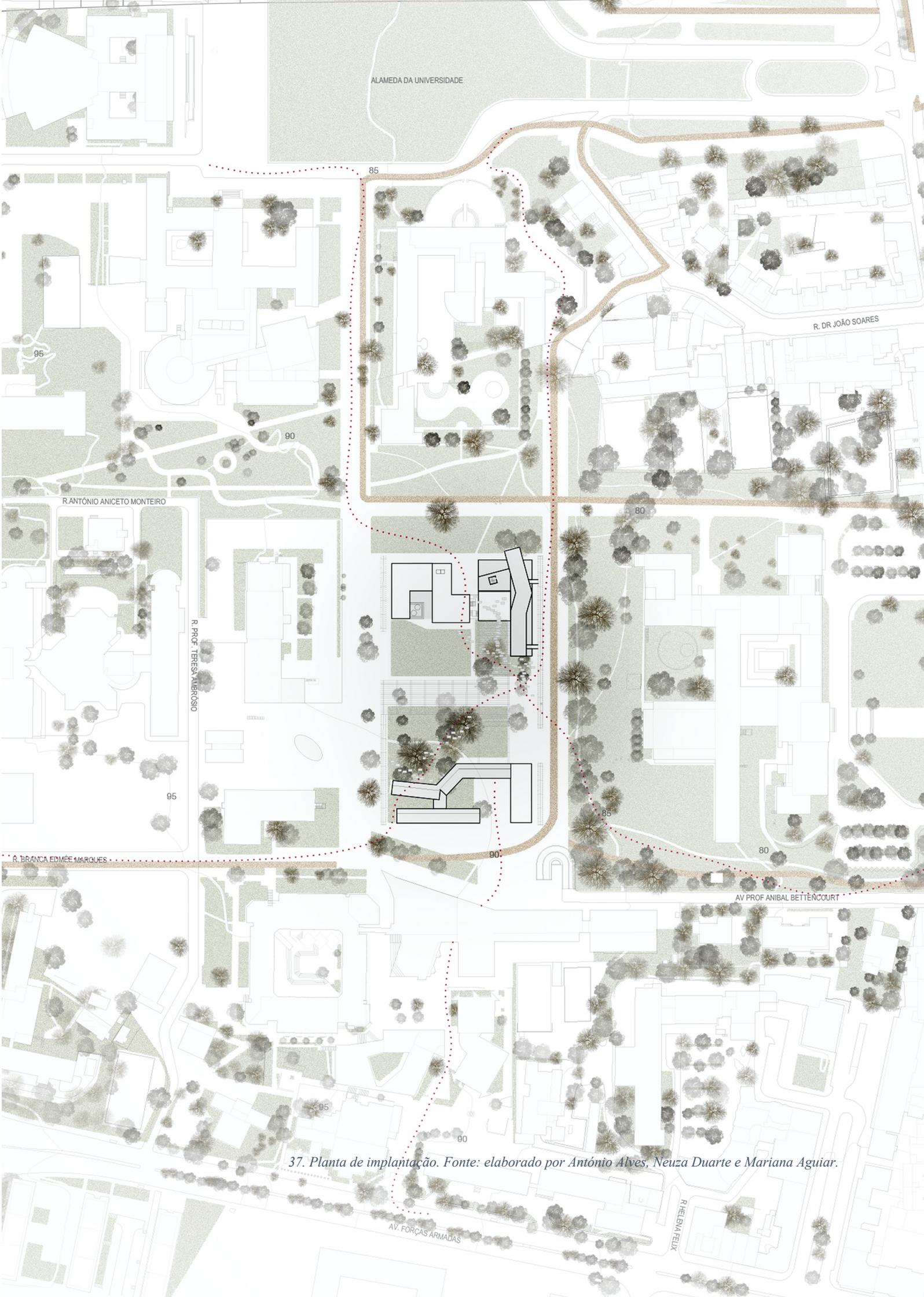
Este projeto centra-se no conjunto monumental constituído pela Alameda da Universidade e pelos primeiros edifícios a serem contruídos: a Reitoria 11, Faculdade de Direito 2 e Faculdade de Letras 4.

Este era proposto com um local que funcionasse como um bairro, um local de interação. No entanto, este recinto é atualmente um sítio composto por campus isolados que não se interrelacionam.

O local de intervenção 21 é um espaço urbano residual, nas traseiras da Biblioteca Nacional de Portugal 18. Este apresenta um elevado potencial como **ponto de ligação central entre os vários campus**, devido à sua localização. Através de intervenções cirúrgicas no espaço envolvente, é possível estabelecer relações entre as diversas instituições, melhorar as acessibilidades e trazer uma nova dinâmica social ao espaço.

O trabalho partiu de uma leitura do lugar objeto de intervenção. Pretende-se compreender, enquadrar e valorizar os pontos mais e menos fortes da área, para que se possa ir ao encontro das necessidades dos indivíduos, dos que já lá habitam e dos outros que possam vir a fazê-lo. A solução apresentada é resultante desta análise do local, que constatou que esse se encontra numa zona a meia encosta, entre a linha de água, o Campo Grande e a linha de feito, junto à Avenida dos Combatentes. Foi claro que este local apresenta um enorme potencial como linha de passagem e desbloqueamento de percursos neste local, que se encontra fechado sobre si próprio e é de difícil acesso, visto que atualmente, o acesso a este local apenas pode ser feito através de três pontos: R branca Edmée marques, Av. Prof. Anibal Bettencourt ou pela Alameda da Universidade.

Assim, a estratégia de intervenção tem como objetivos tornar este espaço outrora residual, no espaço principal, - **o novo centro** – da cidade universitária. Este complexo de edificios propostos para este local simbolizam a monumentalidade, centralidade e regularização do espaço, que precisa de uma **nova ordem**.



ALAMEDA DA UNIVERSIDADE

85

90

R. ANTONIO ANICETO MONTEIRO

R. PROF. TERESA AMBROSO

95

R. BRANCA EDMÉE MARQUES

90

80

85

80

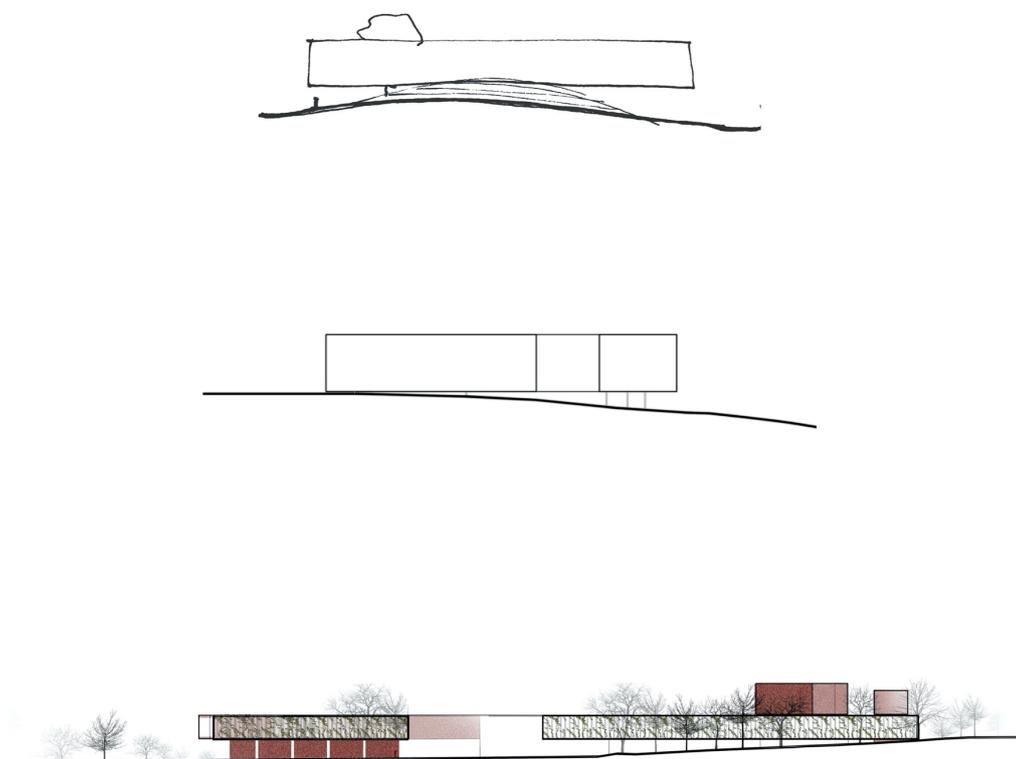
AV. PROF ANIBAL BETTENCOURT

37. Planta de implantação. Fonte: elaborado por António Alves, Neza Duarte e Mariana Aguiar.

AV. FORÇAS ARMADAS

R. HELENA FELIX

4. Estratégia de intervenção



38. Alçados conceptuais da primeira, segunda e última fases. Fonte: elaborado pela autora.

ÁREA DE ESTUDO MELHORAR A CIRCULAÇÃO E AUMENTAR AFLUÊNCIA DO ESPAÇO

- NOVOS ACESSOS PELA BIBLIOTECA NACIONAL E RUA DR. JOÃO SOARES.
- REESTRUTURAÇÃO DOS EIXOS VIÁRIOS JUNTO À FACULDADE DE FARMÁCIA 3 E FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA 6, ASSIM COMO A CONTINUIDADE DA RUA PROF. TERESA AMBRÓSIO.
- ESTE ESPAÇO É MUITO CONDICIONADO PELA CIRCULAÇÃO AUTOMÓVEL. DESTE MODO É PROPOSTA UMA EXCLUSÃO DESTE ELEMENTO NO LOCAL DE INTERVENÇÃO — APENAS PERMITIR OS PERCURSOS PEDESTRES E DAR CONTINUIDADE À CICLOVIA EXISTENTE.
- MAIS ÁREAS VERDES PROPOSTAS – CONTINUIDADE DO JARDIM DA FACULDADE DE PSICOLOGIA.

ÁREA DE INTERVENÇÃO

- CRIAÇÃO DE UM “VOLUME” REGULAR, QUE DEMARCA OS LIMITES CLAROS DO NOVO CENTRO, AINDA QUE APENAS VISUAIS, DE FORMA A CLARIFICAR A NOVA ORDEM.
- NÃO CRIAR NOVAS BARREIRAS DE PERCURSO — PERMEABILIDADE AO NÍVEL TÉRREO
- DISTRIBUIÇÃO ESTRATÉGICA DO PROGRAMA – MAIOR FLUXO DE PESSOAS JUNTO ÀS NOVAS AVENIDAS CRIADAS, NAS TRASEIRAS DA BIBLIOTECA NACIONAL, QUE PASSA A GANHAR O MESMO CARACTER PUBLICO DA FACHADA PRINCIPAL.

SOLUÇÃO DE PROJETO

TRÊS CONJUNTOS DE EDIFICADO — RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA, SUSTAINABILITY SCHOOL E SOCIO-TECH CENTRE — UNIDOS ATRAVÉS DE UMA ESTRUTURA METÁLICA, QUE CONTÉM PARTE DO PROGRAMA, ASSIM COMO ESPAÇOS VERDES DE LAZER, ACESSOS, PRODUÇÃO ENERGÉTICA E ALIMENTAR.



39. Perspetiva este da proposta de intervenção de grupo. Fonte: elaborado por António Alves, Neuz Duarte e Mariana Aguiar.

5. Socio-Tech Centre

Localiza-se a norte da implantação, no cruzamento onde foram criadas as novas “avenidas” principais. Este edifício, composto por dois volumes sobrepostos, foi projetado para este local com o intuito de trazer um maior fluxo de movimentação e uma nova vida a este local, com um carácter mais comercial, em constante funcionamento. A entrada principal do Centro é demarcada através de uma extrusão resultante da sobreposição dos volumes, numa demarcação clara da hierarquia dos espaços, através do pé direito duplo.

Este estende-se ao lobby de entrada, seguido de um espaço de pé direito reduzido, que simboliza a transição para um espaço mais reservado. Esta transição é definida por um piso intermédio, onde se encontra a *Library of Things*.

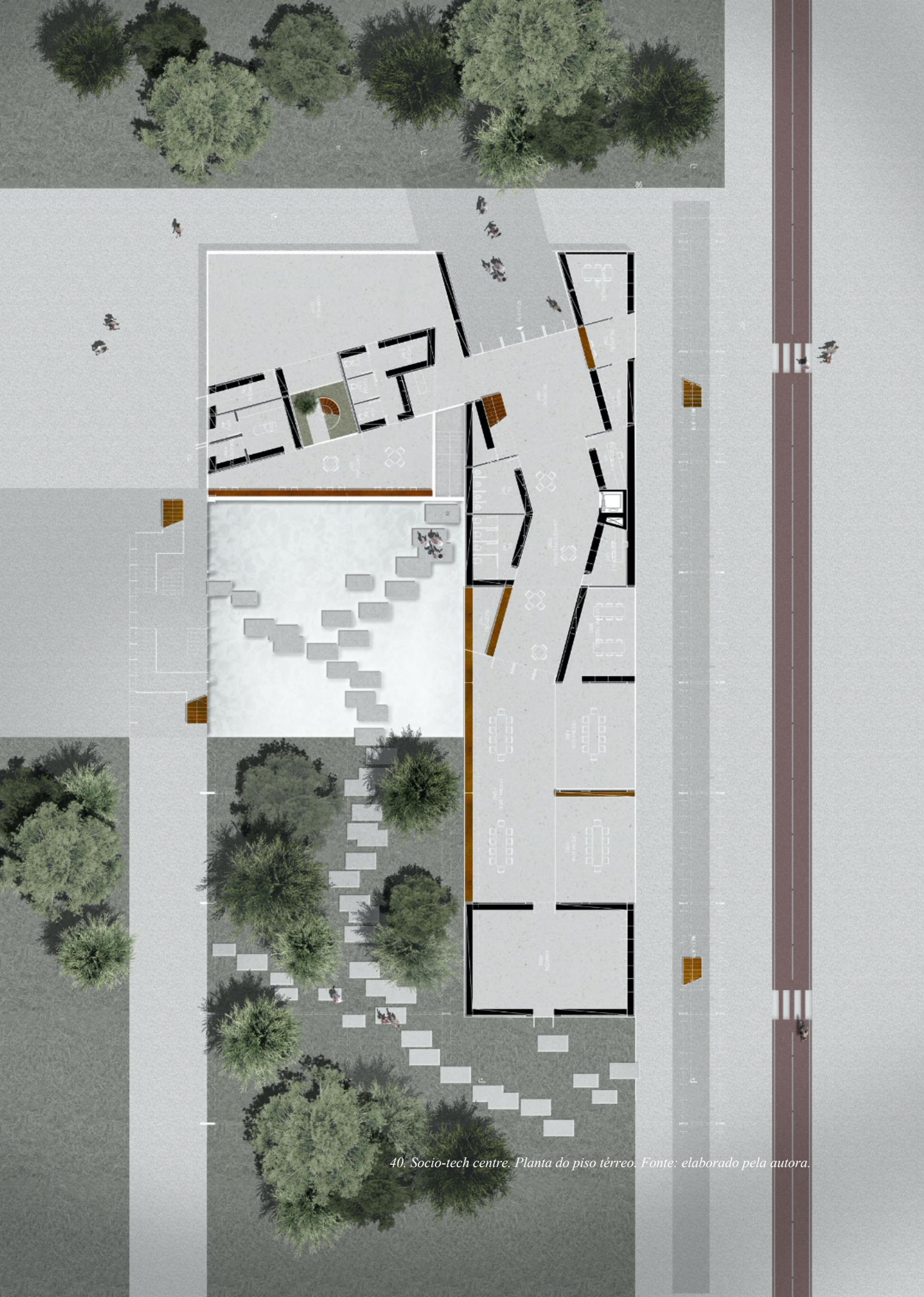
O primeiro volume procura ser uma continuação do espaço público e transmitir a fluidez de circulação para o interior do projeto. Este pretende ter uma relação próxima e transparente com o exterior em diferentes ambientes: com o espaço verde a sul, com o espelho de água criado a oeste, e com as avenidas principais a norte e este.

Assim sendo, todo o piso térreo permite diversos atravessamentos, e são propostas diferentes entradas, que permitem um percurso contínuo e permeável dentro do próprio edifício. Deste modo, este edifício foi projetado de forma a não construir nenhuma barreira física, e ser sim um espaço público coberto, na continuidade do espaço público ao ar livre.

A materialidade escolhida para este volume - o vidro - pretende reforçar esse conceito de permeabilidade, transparência e relação interior exterior, público-privado. Dentro desta “caixa” de vidro, existem paredes opacas, que definem os espaços.

Este revestimento de vidro foi cuidadosamente pensado, onde foi desenvolvido todo um sistema que permite um revestimento contínuo, sem desenho visível de caixilharias e que ainda assim, permita a abertura de vãos para ventilação do espaço, como se pode observar no corte construtivo. O objetivo principal é minimizar os elementos do projeto, permitindo ter superfícies contínuas e minimalistas.

A unidade espacial é configurada através da espessura das paredes, que caracterizam espaços sem comprometer a sua continuidade, que a olho nu, parecem um espaço único e interruptos. Estas paredes espessas também se transformam em mobiliário, como a bancada da cafetaria, em espaços de arrumação, como nos armários dos armazéns, ou ainda em lavatórios, nas instalações sanitárias e contém todas as áreas técnicas (tubagens de ventilação, eletricidade, etc).



40. Socio-tech centre. Planta do piso térreo. Fonte: elaborado pela autora.

Por um lado, temos então uma zona de circulação, térrea e “transparente”, pública. Por outra, as caixas privadas, fechadas e opacas – materializadas no aço corten. Estas caixas opacas, correspondem então aos espaços privados — instalações sanitárias, escritórios, administração e outras áreas técnicas.

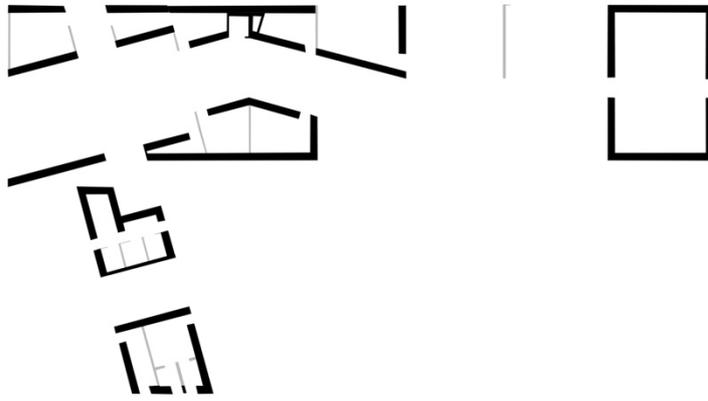
A organização interior deste volume toma duas direções, por onde se divide o programa: A este, encontra-se o centro transdisciplinar socioeconómico, com oficinas de trabalho multifuncionais, que permitem abrir e fechar os espaços consoante as necessidades, nomeadamente para o exterior. A oeste, encontra-se o espaço de comércio, virado para a avenida norte, e para sul, mais reservado, encontra-se o espaço de cafetaria, num registo mais íntimo, em relação próxima com o espelho de água projetado para o interior da intervenção. Este espelho de água, permite uma diferente experiência sensorial para ambos utilizadores da cafetaria e das oficinas, por se encontrar numa cota mais baixa, e estabelecer relações visuais distintas do exterior, como se pode observar no corte DD’.

Ambos os espaços de cafetaria e de comércio se encontram unidos visualmente por um pátio, ponto de ligação e acesso à cobertura, permitindo a sua utilização como espaço público de lazer. Este pátio de pequenas dimensões, pretende ser um foco de luz, a iluminar a escada helicoidal. Este espaço de cobertura, por ter espaços com diferentes cotas, permite abertura de um vão que ilumina o espaço de comércio, como se pode observar no corte DD’ e CC’.

O segundo volume, sobreposto a este, procura relacionar-se a nível superior, direcionando-se para procurar enquadrar a vista privilegiada sobre o espaço envolvente. Surge como uma caixa metálica opaca, por oposição à transparência e regularidade do piso inferior. Este espaço mais privado, é onde se encontram os espaços de empreendedorismo.

O acesso ao espaço superior é feito através de uma escadaria linear, que define o sentido de percursos do projeto. Estas relações entre espaços do piso dois e três podem ser observadas no corte AA’.

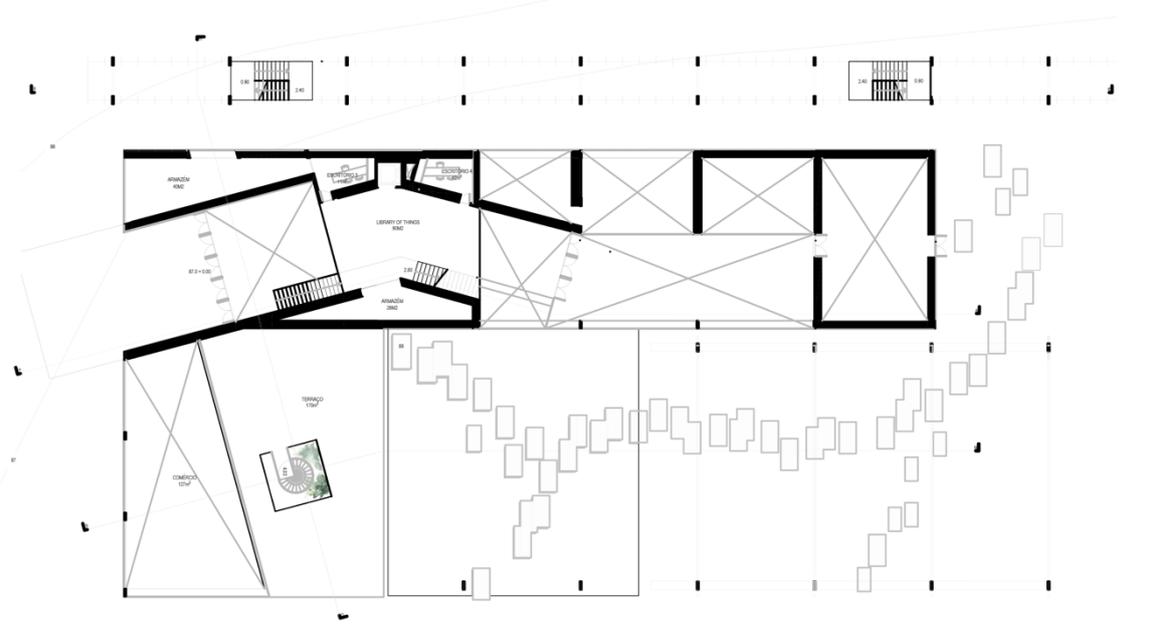
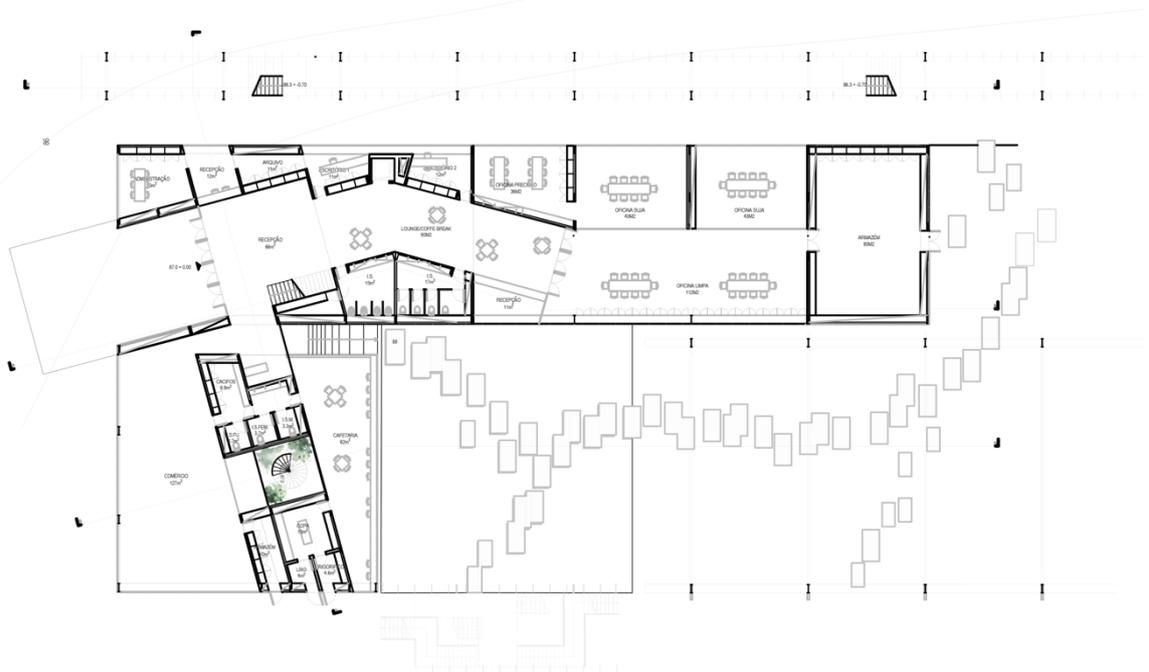
No entanto, o acesso a estes pisos superior também pode ser feito através da Fachada Biomimética, estrutura que também salvaguarda a segurança contra incêndios. A materialidade escolhida pretende relacionar-se com o carácter industrial das oficinais, assim como beneficiar das características mecânicas do metal e da sua leveza. O aço corten também é utilizado na pérgola que ligam todo o conjunto de edificado, material eleito também pela pouca manutenção que requer. Assim, é reforçado novamente o conceito de continuidade do espaço.



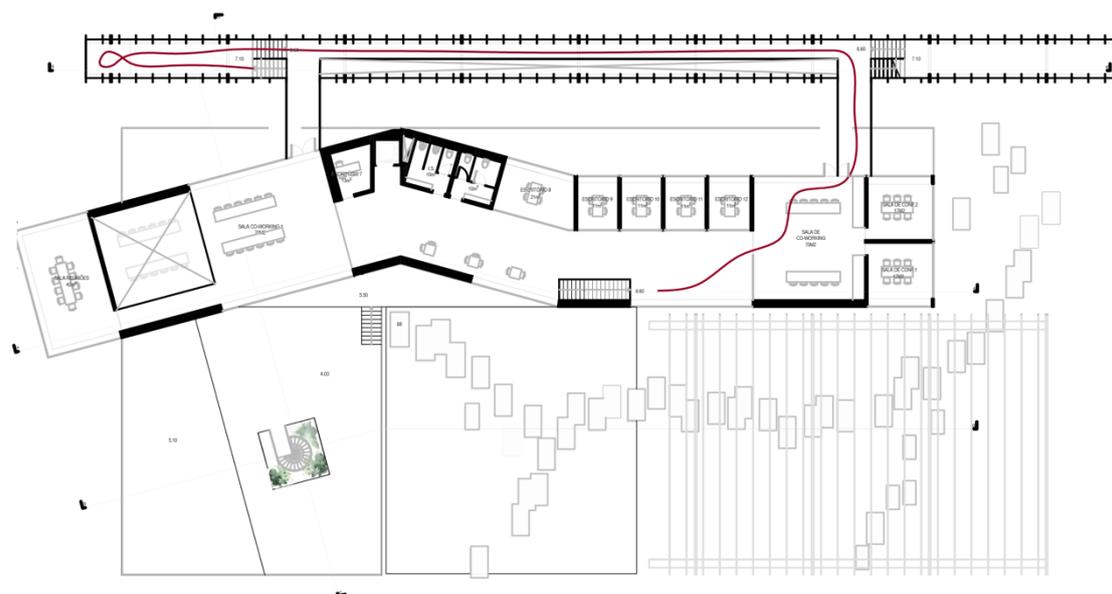
41. Socio-tech centre. Planta do piso térreo. Fonte: elaborado pela autora.



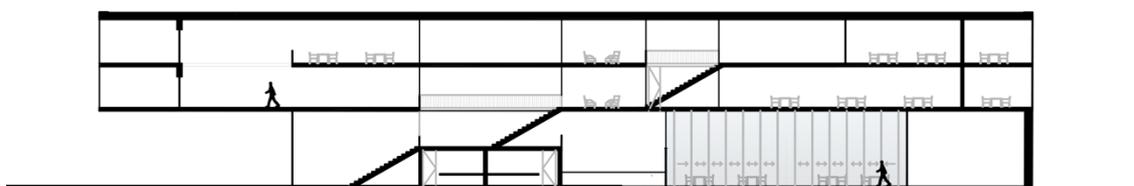
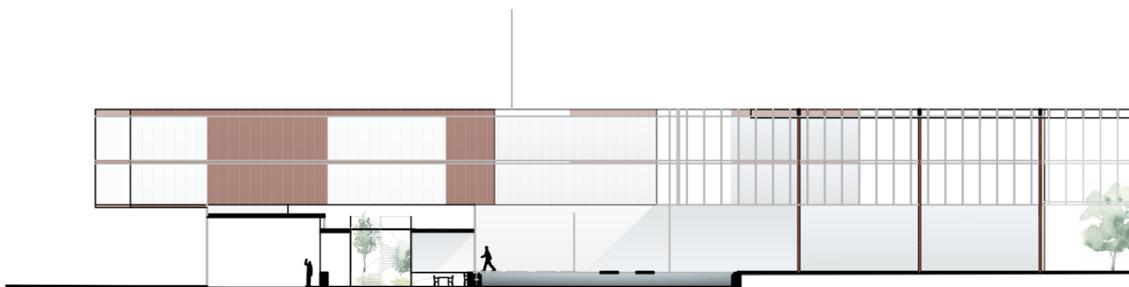
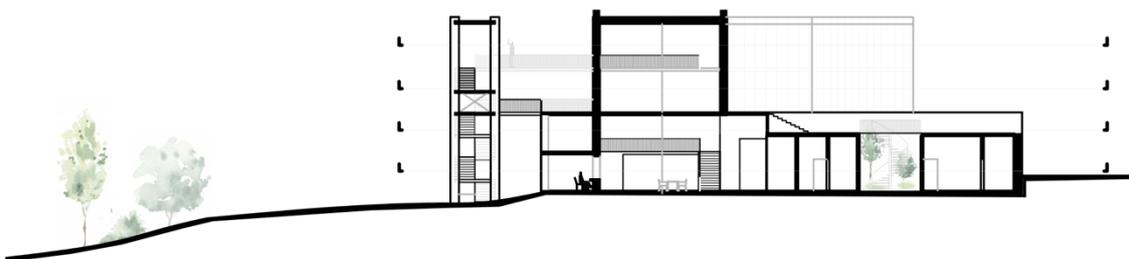
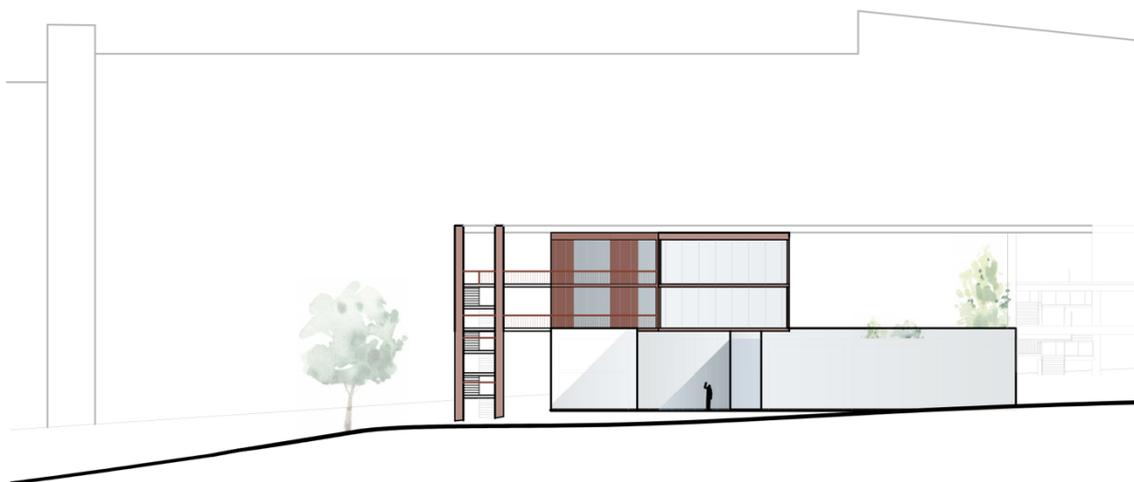
42. Socio-Tech Centre. Perspetiva do alçado norte. Fonte: elaborado pela autora.



43. Socio-Tech Centre. Planta do piso térreo e piso 1. Fonte: elaborado pela autora.



44. Socio-Tech Centre. Planta do piso 2 e piso 3. Fonte: elaborado pela autora



45. Socio-Tech Centre. Alçado norte, corte CC', corte DD' e corte AA'. Fonte: elaborado pela autora

5.1 Introdução à investigação teórica

Os elementos desenhados no projeto destinados a serem as estruturas delineadores da nova ordem reguladora do projeto, são estrutura fundamentais do mesmo. Não tendo apenas esta função de limite visual, apresentaram a oportunidade de construir programa.

Deste modo, estas fachadas são elementos-chave do projeto que unem os 3 conjuntos de edificado. Esta fachada apresentou a oportunidade de responder

6. Identificação da problemática

Construção de um elemento de fachada independente, inspirado em conceitos biomiméticos, que possa ser aplicado a qualquer projeto, que contenha as seguintes funções:

- 1. Regeneração do ambiente;**
- 2. Fonte de energia renovável;**
- 3. Captação e armazenamento de águas pluviais;**

6.1 Identificação/abstração de situações análogas e proposta de design

Para tal, foi pressuposta uma estrutura de fachada que permitisse o acesso e circulação de pessoas, onde fossem integrados painéis biorreatores que utilizassem microalgas para a captação de dióxido de carbono atmosférico e produção de oxigénio, através do reaproveitamento de águas pluviais, e que ainda funcionasse como uma fonte de energia renovável (FER).

Assim, esta estrutura biomimética regenerativa permite assegurar alguma parte das necessidades energéticas do complexo de edifícios, assim como de água, e ainda com a capacidade de melhorar a qualidade do ar envolvente.

Esta estrutura é exterior, para garantir um maior aproveitamento das águas pluviais, luz solar e CO₂, essenciais à vida das algas, e que resolve também parte do programa arquitetónico, uma vez que assegura a saída de emergência do edifício. Por outro lado, os painéis possibilitam um sombreamento adaptativo, uma vez que as algas, estimuladas pela luz solar, crescem com maior intensidade nos meses mais quentes, aumentando a opacidade dos painéis, o que origina a diminuição da quantidade de luz que trespassa para o interior do

edifício. Este sistema também se mostrou promissor no âmbito dos isolamentos térmico-acústicos.

São propostos 174 painéis biorreatores, instalados numa estrutura metálica que envolve todo o complexo de edifícios. Cada painel terá dimensões de 1.15 por 6m, e será afixado na estrutura em aço, que contém a mesma métrica.

Na parte superior, existirá um sistema para captação de águas pluviais, ligado às tubagens de fornecimento de água aos painéis de algas. Este sistema será composto por materiais hidrodinâmicos, para maximizar a captação de água, melhorar a condensação do orvalho e o fluxo de água. Para tal, será utilizada a tela plástica desenvolvida pela Quinetic, inspirada na tecnologia desenvolvida através do besouro da Namíbia. No topo, à semelhança do projeto Warka Water, serão colocados espelhos para evitar a contaminação das águas por aves como representado na figura 12 (ver pág. 35).

O excesso de água será encaminhado para um depósito localizado no 1º nível, assim como existirão outras tubagens de saída, AQS e armazenamento de biomassa.

A possibilidade de existir um contacto direto do utilizador com estes painéis permite uma simbiose entre a componente teórica do projeto e a experiência arquitetónica do utilizador. Assim, além da valorização destes elementos pela sua relevância a nível ambiental, existe uma intenção estética e arquitetónica a ser transmitida.

7. Fontes de Energia Renováveis (FER)

Segundo o Guia de Energias Renováveis, “uma Fonte de Energia Renovável (FER) é aquela cujo recurso (energia) é considerado inesgotável, numa escala temporal sustentável, como a solar, a eólica, a hídrica, a biomassa, a geotérmica e a energia dos oceanos (marés, correntes, etc.)” (Adene, 2010) pág 5. Devido à crescente escassez de recursos de origem fóssil, a utilização destes recursos, e em particular em detrimento dos combustíveis fósseis, é essencial, para ajudar a reduzir as fontes de poluição e o conseqüente impacto na segurança ambiental. Em Portugal, algumas das principais fontes de aproveitamento dos recursos endógenos renováveis com viabilidade de aplicação nos edifícios, segundo consulta do Manual de Eficiência Energética, são:

- Solar fotovoltaico.
- Biomassa;
- Solar térmico;

7.1 Solar Fotovoltaico

No âmbito do aproveitamento de recursos naturais para produção de energia elétrica encontra-se o solar fotovoltaico. A produção de energia solar fotovoltaica surge da conversão da energia incidente em materiais semicondutores, proveniente da radiação solar, em eletricidade, através do efeito fotoelétrico. (Adene, 2010).

Nos edifícios, as centrais solares fotovoltaicas, são habitualmente colocadas na sua cobertura. Todavia, também é possível a sua instalação noutros locais, como nas fachadas, em parques de estacionamento ou no solo, podendo neste último caso ser-lhes associado um sistema de seguimento solar que permite maximizar a produção. (Adene, 2010).

No entanto, este sistema requer alguma manutenção e limpeza periódica, visto que a acumulação de sujidade, poeiras, poluição ou outro tipo de contaminantes (e.g. excrementos de pássaros) poderá reduzir significativamente o rendimento da central solar fotovoltaica, sendo impreterível que esta seja feita pelo menos anualmente. (Adene, 2010).

7.2 Biomassa

Considera-se biomassa todo o **material orgânico** proveniente de atividades agrícolas ou pecuárias, da exploração florestal ou indústrias afins, bem como a fração biodegradável dos resíduos (industriais ou urbanos). Quando é utilizada para produção de energia (térmica ou elétrica), a biomassa passa a ser designada como bioenergia, ou como material biocombustível. Os biocombustíveis, que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, tornam a bioenergia como um veículo potenciador da implementação de energias renováveis nos diversos setores da economia: (Adene, 2010).

- **Biocombustíveis sólidos:** vulgarmente designados como “biomassa” são fundamentalmente utilizados para produção de energia para sistemas de aquecimento em edifícios ou equipamentos (Adene, 2010).

- **Biocombustíveis líquidos:** englobam basicamente o Bioetanol e o Biodiesel, e são uma alternativa aos combustíveis rodoviários tradicionais (gasolina ou gasóleo, respetivamente) (Adene, 2010).

- **Biocombustíveis gasosos,** vulgarmente designado como “Biogás”, podem ser utilizados em sistemas de aquecimento de edifícios, no sector dos transportes, e produção de energia elétrica. (Adene, 2010).

7.3 Solar Térmico

Este sistema de coletores solares é habitualmente aplicado na cobertura, podendo ter aplicações em fachada. Neste sistema, a radiação solar é convertida em calor útil através da captação por intermédio dos coletores solares e consequente transferência para os depósitos de acumulação, através de uma rede de tubagem na qual circula um fluido de transferência térmica. Posteriormente este calor é armazenado, permitindo uma utilização nos períodos em que as necessidades não coincidem com a disponibilidade do recurso (solar) (Adene, 2010). As tipologias de coletores dividem-se em:

- **Coletores planos,** onde a energia solar é absorvida pela e retida pelo vidro, que faz de efeito de estufa;

- **Coletores de tubos de vácuo,** em que a energia é absorvida por vaporização do líquido nos tubos centrais.

As utilizações típicas dos sistemas solares térmicos são a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e/ou o aquecimento de águas de piscinas, podendo também ser utilizados para apoio a sistemas de climatização (aquecimento ambiente). (Adene, 2010).

8. Painéis biorreatores como FER

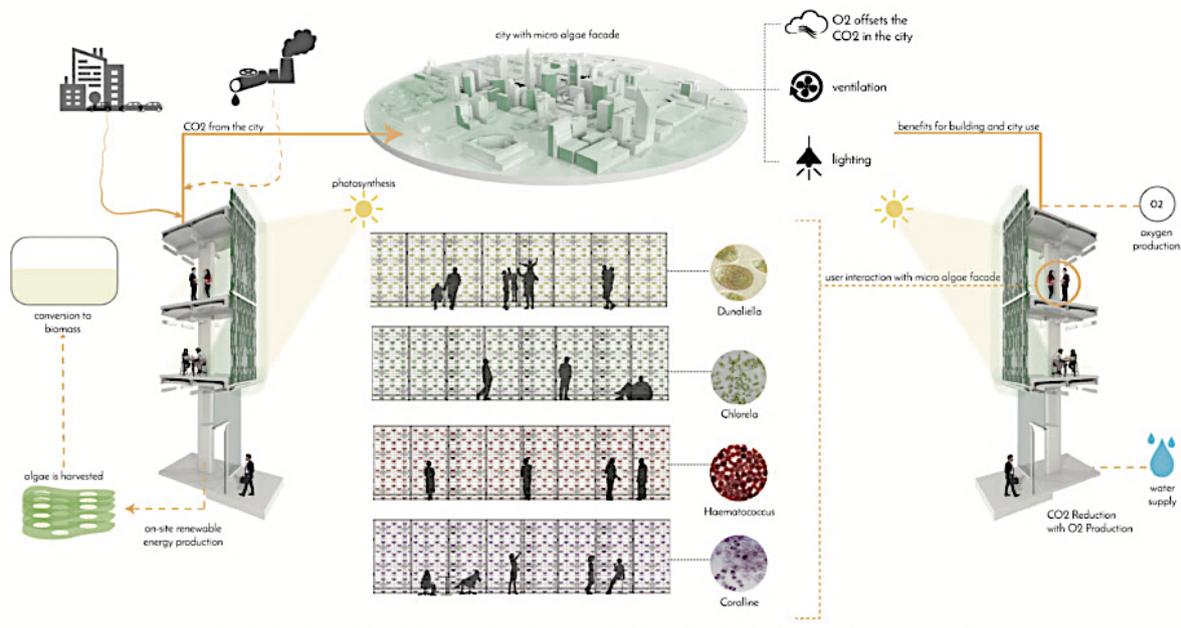
Tal como explicado anteriormente, os painéis de vidro são preenchidos com água e nutrientes que convertem luz solar e CO₂ em biomassa de algas (material orgânico) através do processo bioquímico da fotossíntese. Simultaneamente, a água é aquecida através do efeito solar-térmico. A biomassa e calor gerados pela fachada são transportados através de um sistema fechado até ao local onde ambas fontes de energia são transformadas, através de um separador e um transformador de calor respetivamente. O biocombustível gerado tem de ser posteriormente transportado para o local onde é transformado em combustível, enquanto o excesso de calor produzido pode ser armazenado num sistema geotérmico local.

Devido ao alto teor de energia contido pela biomassa algal, este permite que possa ter mais utilizações do que a produção de energia, sendo que os excessos de biomassa possam ser utilizados para alimentação e pela indústria farmacêutica.

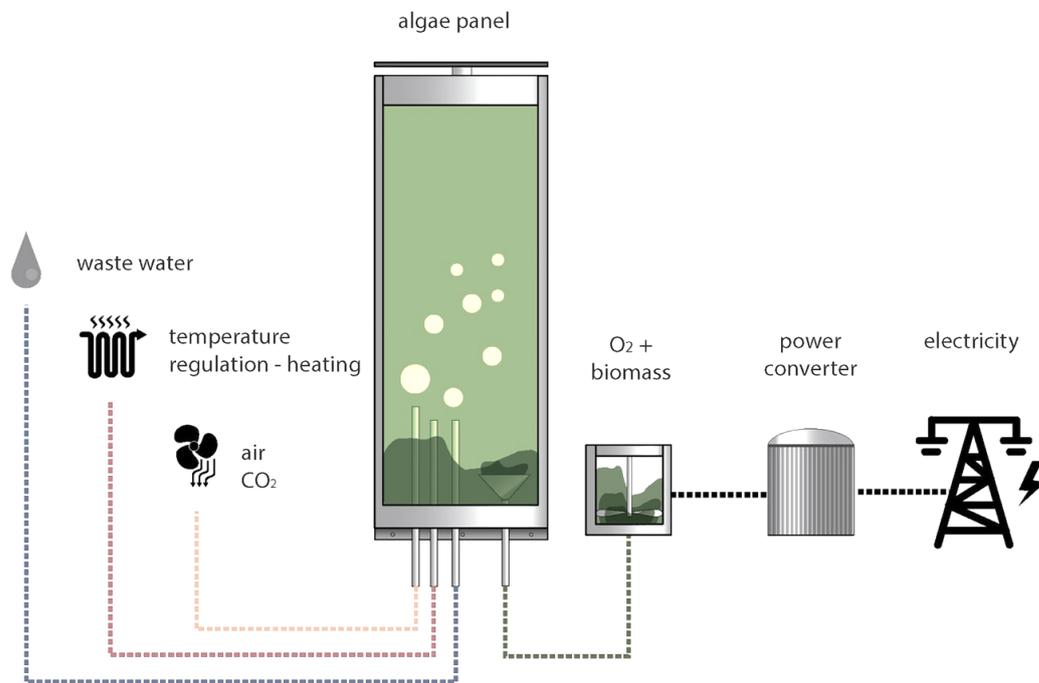
Uma das vantagens da biomassa em comparação com o sistema fotovoltaico é que esta forma de energia solar pode ser facilmente armazenada e não requer dispositivos de armazenamento de elevado custo (como baterias).

A conversão de luz em calor destes painéis é como no processo físico utilizado tradicionalmente na energia solar térmica, como explicado anteriormente. Em contraste, a conversão de luz em biomassa é um processo bioquímico facilitado pelo uso de micro-algas, de tamanho inferior a 2mm. Estas, tal como as plantas de solo, utilizam a luz solar para o processo de fotossíntese, o que está diretamente relacionado com a conversão de CO₂ em matéria orgânica (biomassa). (Andradade & Filho, 2014)

Alguns projetos já têm sido desenvolvidos aplicando esta tecnologia de painéis FBRs com microalgas, no entanto, a maioria ainda não foram concretizados, como os exemplos das imagens ao lado.



The microalgae facade is a closed-loop social-ecological system that provides energy efficiency, good air quality, and daylighting during building operation while incorporating a high level of user interaction features, leading to user satisfaction with greater physical and cognitive performance.



46. Fachada de vidro com microalgas. Fonte: Laboratório de Pesquisa em Design Integrado da Universidade da Carolina do Norte (IDRL).

47. Concurso Internacional 'Architecture at Zero!': Symbiosis, casas em modo de energia zero. Esquema painel biorreator. Fonte: Arquitectos Rocio Carvajo, Sergio Carretero, Josiane Crampé, Geoffrey Diackiw

O cultivo de microalgas em biorreatores tem tem-se comprovado como resposta aos desafios apresentados pela produção deste organismo, tais como minimização da contaminação, maior densidade de cultura e maior controlo sobre as condições físico-químicas (temperatura).

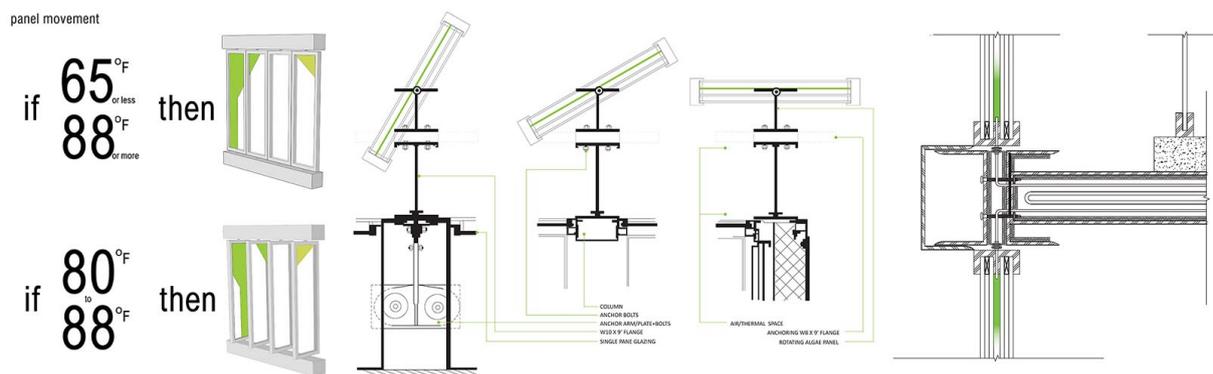
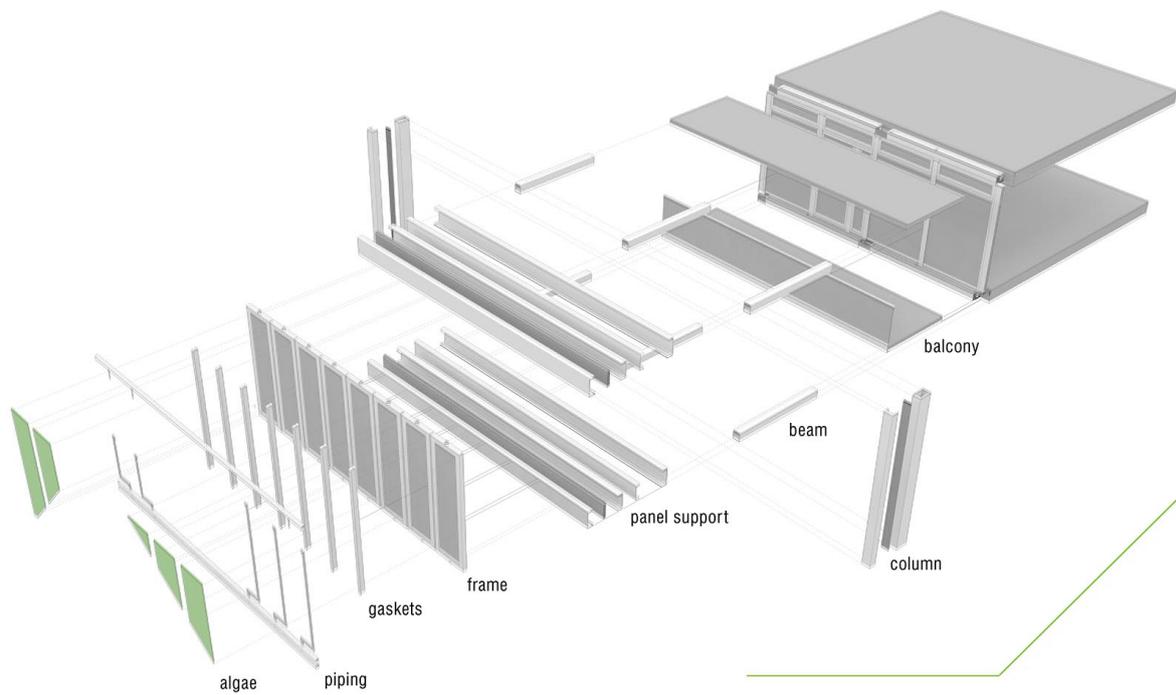
A tecnologia em uso envolve produção foto autotrófica, com iluminação natural, um sistema de trocas gasosas, para fornecer CO₂ e remover o oxigénio gerado, e um sistema de recolha de biomassa. (Ramalho, 2013)

A biomassa produzida contém cerca de 23 a 27kl de energia por grama de peso seco. A extração e processamento dos produtos obtidos baseia-se em processos de sedimentação, centrifugação, flutuação e filtração, seguida de disrupção celular. A etapa final no processo consiste no fracionamento dos extratos, geralmente com recurso a solventes orgânicos e recolha dos óleos. Todo este processo é conduzido através de um sistema automatizado da Rockwell SPS.

Além de controlar todos os parâmetros que afetam o processo bioquímico, o sistema de automação dos painéis permite alterar a sua orientação e inclinação. Ao permitir esta redirecionamento dos painéis existe um controlo sob a produção de biomassa e calor, tal como no sombreamento.

Outro projeto desenvolvido sob conceitos biomiméticos, *Algae Facade*, que que permite uma **automatização na orientação** dos painéis através de sensores de luz, foi desenvolvido pelos investigadores estudantes Samantha Bard, Mary Lopreiato e Libertad McLellan. Este trabalho foi apresentado aquando o Showcase anual de Investigação estudantil da Knox 2015 e foram votados para o Prémio de Investigação. (Zarzycki, 2020).

O projeto *Algae Facade* integra sistemas tecnológicos inspirados na natureza como sensores, atuadores e microcontroladores, o que resulta em painéis com uma maior eficiência e adaptabilidade à envolvente, de forma automatizada. Uma convergência entre ambos projetos é pertinente no sentido de existir uma maior eficácia na produção de biomassa, na ambição de atingir o objetivo máximo – um projeto neutro em carbono.



48. Axonometria explodida da montagem de um painel adaptativo e reativo. Fonte: Autoria de Samantha Bard, Mary Lopreiato, e Libertad McLellan, NJIT'16. Instructor: Andrzej Zarzycki, NJIT

49. Pormenor construtivo de um painel adaptativo e reativo. Fonte: Autoria de Samantha Bard, Mary Lopreiato, e Libertad McLellan, NJIT'16. Instructor: Andrzej Zarzycki, NJIT

8.1 Microalgas

As primeiras microalgas conhecidas, as cianobactérias, existem há mais de três milhões de anos. Esses microrganismos foram responsáveis pela mudança na composição da atmosfera primitiva, pois foram o principal responsável pelo aumento do nível de oxigênio na atmosfera, o que permitiu o desenvolvimento da vida como a conhecemos. (Fonseca, 2016)

Com já referido anteriormente, as microalgas, ou também conhecidos por fitoplâncton, são um grupo de microrganismos aquáticos com capacidade fotossintética, unicelulares e de rápido crescimento.

São conhecidas mais de 30.000 espécies de microalgas, das quais apenas cerca de 100 foram estudados e apenas cerca de 20 são regularmente explorados comercialmente, e que devido às suas características, tem havido estudo sobre as aplicações destes organismos em diferentes indústrias, tais como: alimentação, cosmetologia, purificação de águas residuais, produção farmacêutica, produção de pigmentos e produção de biocombustíveis. (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2020)

A escolha da espécie a cultivar depende diretamente da finalidade que se deseja fornecer a biomassa resultante. Entre as aplicações mais importantes das microalgas citadas, encontra-se a **produção de biocombustíveis**, sendo uma das principais opções contempladas pela atual bioeconomia para a substituição de combustíveis fósseis. (Raquel Antunes, 2010)

As microalgas oleaginosas (pirrofíceas e clorofíceas) podem ser utilizadas para produzir uma ampla gama de combustíveis como: bioetanol, biodiesel e biometano, porque armazenam energia química na forma de óleos, como lipídios ou triglicerídeos. (M.D. Guiry, 2020) Por sua vez, as espécies mais utilizadas na aquicultura pertencem aos géneros *Tetraselmis*, *Nannochloris* e *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Chaetoceros* e *Rhodomonas*.¹

Para o efeito deste estudo, interessa-nos as aplicações das microalgas no domínio da produção de biocombustíveis e produção alimentar. No entanto, as espécies de microalgas nos painéis biorreatores projetados podem ser substituídas para responder a necessidades futuras.

¹ A organização *AlgaeBase* tem uma base de dados que constitui um importante sistema de informação, de fácil consulta, onde se podem encontrar todos os tipos de algas citados, tanto através da sua classificação, família, nome comum ou científico.

A classificação das algas, adotada aqui para fins didáticos, divide-as em seis grupos, baseada no pigmento que pode ser encontrado nas mesmas:

Chlorophyta (clorofíceas), **algas verdes;**

Chlorella sp. (nutracêuticos e aquicultura)

Dunaliella salina (obtenção de β -caroteno)

Haematococcus pluvialis (astaxantina)²

Phaeophyta (feofíceas), **algas pardas;**

Rhodophyta (rodofíceas), **algas vermelhas;**

Porphyridium cruentum (ficoeritrina, ácido araquidônico)

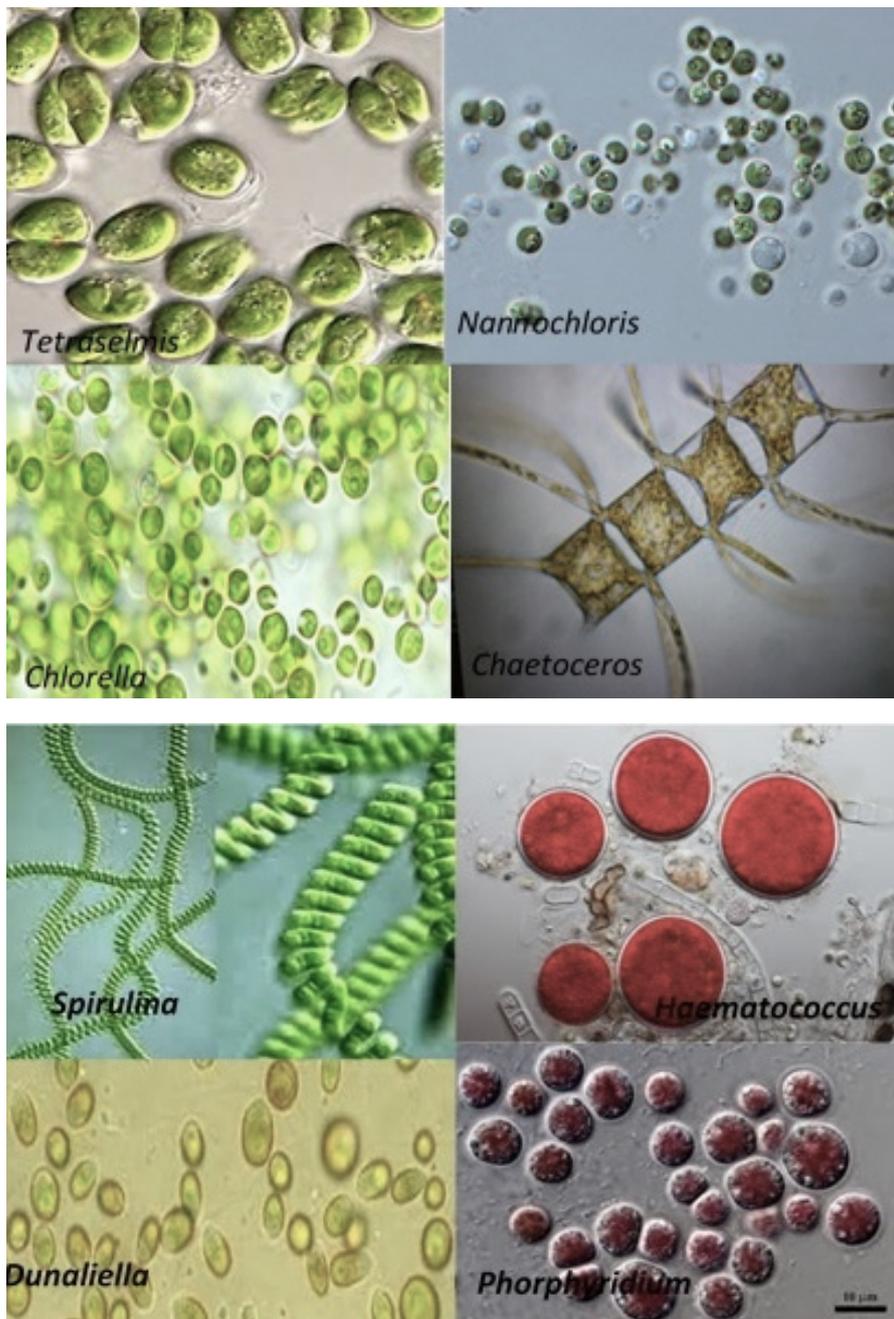
Nannochloropsis gaditana (aquicultura, ácidos graxos poliinsaturados, lipídios para obtenção de biodiesel).

Chrysophyta (crisofíceas), **algas douradas** ou diatomáceas;

Pyrrophyta (pirrofíceas), **algas cor de fogo** ou dinoflagelados;

Euglenophyta (euglenófitas), **algas verdes sem parede celular.**

² Esta alga é a maior fonte de astaxantina encontrada na natureza. A astaxantina é produzida como forma de proteção contra as radiações ultravioleta.



50. Exemplos de microalgas. Fonte: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>

8.2 *Sistemas de cultura de microalgas*

Existem diversos sistemas para cultura de microalgas, que se podem dividir em:

Sistemas abertos (expostos a fatores ambientais)

Extenso (grandes áreas, 5-50ha, sem agitação mecânica)

Intensivo (área <5ha, cultivo rasos, com agitação mecânica)

Cultura de camada fina (tanques inclinados)

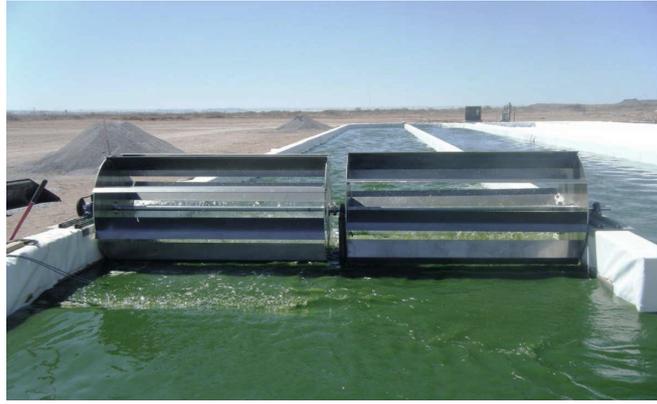
Sistemas fechados (protegidos de fatores ambientais) – fotobiorreatores (FBRs)

Tubular (cilindros horizontais ou verticais)

Planos (painéis verticais)

Os FBRs têm várias vantagens sobre os reatores abertos, por diminuírem as perdas por evaporação, terem uma maior proteção contra fatores externos como a poluição, permitiram uma produção contínua, maior controle de variáveis como a temperatura, maior concentração de produção, entre outras. (Eriksen, 2008)

Como tal, o sistema de cultura aplicado no caso de estudo são coletores planos, num sistema fechado, utilizando a tecnologia desenvolvida por ambos projeto BIQ e Algae Facade, que envolve produção foto autotrófica através da iluminação natural, um sistema de recolha de biomassa e um sistema de trocas gasosas, para fornecer CO₂ e devolver o oxigénio gerado ao ambiente.



52. Sistema aberto extenso para cultura de microalgas. Fonte: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>

51. Sistema aberto tipo canaletta para cultivo de microalgas. Fonte: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>

54. Sistema fechado tubular para cultivo de microalgas. Fonte: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>

53. Sistema fechado plano para cultivo de microalgas. Fonte: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>

8.3 Vantagens da biomassa algal

As algas, constituindo a terceira geração de biocombustíveis, apresentam-se, teoricamente, como a única fonte de biocombustível que pode vir a substituir a dependência do petróleo no futuro de uma forma económica e socialmente viável, devido o seu elevado rendimento, comparavelmente com outras culturas terrestres, gera cerca de 30 vezes mais energia (Raquel Antunes, 2010).

A biomassa micro-algal tem se revelado promissora como uma FER, sendo que em comparação com outras plantas, estes organismos convertem a luz em biomassa de forma muito mais eficaz, por serem seres unicelulares – ou seja, cada célula é capaz de fotossíntese; pela sua reprodução e crescimento rápido – podem se dividir até duas vezes por dia, e por consequente aumentar a sua biomassa num fator de quatro e pelo seu elevado teor de óleo (até cerca de 80% de óleo por peso seco).

Esta também permite a obtenção de produtos de valor acrescentado, como os conhecidos ácidos gordos Omega 3 e 6 (encontrados p.e. na microalga marinha *Nannochloropsis*), vitaminas e antioxidantes presentes na biomassa de microalgas, devidamente reconhecidos e considerados pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) como um “superalimento”. A utilização de microalgas na alimentação tem ganho alguma notoriedade recentemente, como é exemplo da *Spirulina Platensis*. Esta alga microscópica unicelular em forma de espiral e de cor azul-esverdeada, é rica em proteína, aminoácidos, além de altos níveis de ácido gama-linolênico (GLA), beta-caroteno, ácido linoléico, ácido araquidônico, vitamina B12, ferro, cálcio, fósforo, ácidos nucleicos RNA e DNA, clorofila e ficocianina, (Barros, 2010) como se pode observar na tabela nutricional ao lado.

Ainda, um recente estudo da Martin Luther University Halle-Wittenberg (MLU), procura comprovar esta como uma fonte alternativa de ómega 3 e 6 ao peixe, de forma ecologicamente viável. Existem outras aplicações para este organismo como por exemplo no tratamento de águas residuais de inúmeros processos industriais, para a destoxificação biológica e remoção de metais pesados; ou como bioindicadores, na deteção de nutrientes (para as microalgas) e substâncias tóxicas (detergentes, efluentes industriais, herbicidas etc.). Na agricultura, a biomassa pode ser utilizada como biofertilizante do solo.

Composição geral (100g)

Proteína	63,5g	
Carboidrato	16,1g	
Gordura	8,2g	
Fibra	7g	
Minerais	6,78g	IDR (ANVISA)
Fósforo	950mg	136%
Magnésio	305,24mg	117%
Ferro	123,12mg	879%
Iodo	168mcg	129%
Mânganes	305,24mg	13271%
Vitaminas		IDR (ANVISA)
B1	0,53mg	44%
B2	0,73mg	56%
B3	22mg	138%
B12	60mcg	2500%
E	31,7mg	317%
Fitonutrientes		
Carotenoides	451mg	
Clorofila	1179mg	
Ficocianina	11,5g	

*Os valores apresentados de composição nutricional são apenas para referência.

*A composição pode variar de acordo com o lote em função das condições de cultivo.

*IDR = Ingestão Diária Recomendada

*ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

* A tabela apresenta apenas parte da composição nutricional da spirulina, em caso de interesse, solicite a tabela nutricional completa através do site.

Além de sintetizar toxinas, as microalgas podem produzir uma gama de moléculas bioativas com propriedades antibióticas, anticancerígenas, anti-inflamatórias, antivirais, redutoras do colesterol, enzimáticas e com outras atividades farmacológicas.

Por outro lado, através desta matéria-prima podem ser derivados combustíveis como **biodiesel, etanol, hidrogénio, metano, biomassa para combustíveis e gaseificação e outras variantes de hidrocarbonetos combustíveis** (Semião, 2013).

Além de se comportar como uma fonte de biocombustível, a biomassa depende da captação de CO₂ para o seu desenvolvimento. Neste sentido desempenha um papel fundamental para a **regeneração do ambiente**. No entanto, a taxa de captação de CO₂ e a libertação de O₂ através de fachadas Painéis Biorreatores não podem ser exatamente determinadas, uma vez que a taxa de fotossíntese varia de um caso para outro dependendo das especificações do reator, do local, entre outras variantes (Kim, 2013).

9. Avaliação da proposta: capacidade regenerativa e produção energética

Neste capítulo são apresentados os cálculos efetuados para a determinação de valores estimados de produção energética e captação de CO₂ efetuados pela fachada projetada, assim como as conclusões retiradas, que permitem avaliar a capacidade de resposta da fachada às necessidades do projeto. Estes cálculos foram efetuados tendo como referência os valores apresentados pelo sistema SolarLeaf, mas adaptados ao local de estudo, Lisboa.

9.1 Capacidade regenerativa

É possível estimar, sendo que no caso do projeto BIQ, os painéis Solar Leaf, numa área de 200m², captam cerca de seis toneladas de CO₂ por ano. Sendo a área de fachada maior **no caso de estudo – 1020m² — a estimativa de captação de dióxido de carbono é de 30.6 toneladas de CO₂ anualmente**. No projeto todo, o valor estimado é de cerca de 80 toneladas de CO₂ captados. Este valor pode ser aumentado, obviamente, através da colocação de mais painéis e estruturas semelhantes noutros campus.

No entanto, como referência, em 2019, as emissões do ISCTE associadas ao consumo de energia foram de 926 ton CO₂. Ainda assim, apesar do valor de captação não ser muito elevado comparativamente, constitui um importante contributo na reversão destes efeitos.

9.2 Produção energética

Cálculo para uma fachada com 174 painéis de 6.9m²:

- Área de absorção de luz solar: **1020m²**
- Valor de radiação solar global anual em lisboa: (dados IPMA) = 1773kWh/m²
- Perda de 50% da radiação (devido a sombras e orientação) = 886kWh/m²
 - Energia solar térmica corresponde a 40% = **354 kWh/m²** / Redução CO₂ 0,04 t/m²
 - Biomassa 8-10% = **80 kWh/m²** Redução / CO₂ 0,015 t/m²
 - Biogás 80% = **64 kWh/m²**

Produção anual de energia estimada pela fachada: **426 360 kWh**

Solar térmica: **361 080 kWh**

Biogás: **65 280 kWh**

A radiação solar global em lisboa, por ano é de 1773kWh/m², valor superior à cidade de Munique, Alemanha, sendo este um dos três inputs indispensáveis ao desenvolvimento das microalgas. Cerca de 90% do peso da alga é proveniente do consumo de CO₂, por isso, estas desenvolvem-se de forma mais eficiente quando cultivadas em regiões com alto índice de CO₂.

Dada a maior incidência solar em Lisboa do que em Munique e por ser uma região com alto índice de CO₂, podemos concluir que a produção energética por metro quadrado será maior, conseqüente de uma maior produção de biomassa. Esta produção responde por excesso às necessidades para o edifício visto que, comparativamente, no que diz respeito ao consumo elétrico, **uma habitação média consome cerca de 4 000 kWh por ano.** (Manual da eficiência energética, 2010)

10. Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP)

Apesar de cerca de 71% da superfície terrestre ser constituída por água, apenas 2,5% está disponível para o nosso uso. A água potável, é um recurso cada vez mais escasso, e com cada vez maior demanda, conseqüente do aumento da população e da diversidade de atividades praticadas pelo Homem com recurso à água. Este aumento conduziu à rápida redução das reservas de recursos hídricos que se tem vindo a comprovar, tornando cada vez mais a conservação deste recurso num desafio vital para a humanidade.

Assim, a captação de água da chuva tem surgido como uma potencial solução para a escassez deste recurso natural, pois é uma medida que contribui para a conservação de água, a autossuficiência e é uma postura ativa e positiva perante os problemas ambientais. Esta já é uma prática muito difundida em alguns países onde têm sido desenvolvidos novos sistemas que viabilizam a captação de água de boa qualidade, de forma simples e económica.

No entanto, a captação de água de chuva também traz algumas desvantagens. Poderíamos apontar como tal o custo da instalação de um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP), bem como a diminuição do volume de água que é captada em momentos de seca. É ainda pertinente enunciar a importância da manutenção deste sistema, de forma a evitar problemas sanitários. Apesar destas desvantagens, quando analisados os benefícios inerentes à implementação destes sistemas, percebemos que é capaz de superar os problemas ligados à escassez de água de forma sustentável.

10.1 Modo de funcionamento

O aproveitamento de águas pluviais consiste na recolha, desvio e armazenamento de águas pluviais para posterior utilização doméstica. O objetivo principal destes sistemas consiste em substituir a água de uso doméstico sem exigência de potabilidade, por água pluvial devidamente recolhida e fornecida, sendo tratada durante o percurso entre recolha e fornecimento. Este campo tem sido alvo de permanente estudo e desenvolvimento (Texas Water Development Board, 2005).

10.2 Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento é dado em função das características da superfície e representa o quociente entre o volume total de escoamento superficial num determinado período de tempo e o volume total precipitado nesse período. A Especificação Técnica da Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP)³ 0701, referente aos SAAP, define valores para este coeficiente, em função das coberturas que estão disponíveis abaixo na tabela 2.

Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento por cobertura

Tipo de cobertura	Coeficiente de escoamento
Coberturas impermeáveis (telha, cimento, asfalto, etc.)	0,8
Coberturas planas com gravilha	0,6
Coberturas verdes extensivas (pouco porosas)	0,5
Coberturas verdes intensivas (muito porosas)	0,3

10.3 Área de captação

A quantidade de água captada depende da área de captação, logo, quanto maior esta for, maior será o volume de água disponível. A superfície de recolha é a grande responsável pela qualidade final da água, logo, e de acordo com as exigências de qualidade, a recolha poderá em alguns casos ser alargada da cobertura para pavimentos transitáveis ou vias de comunicação. Ainda segundo a especificação técnica da ANQIP, a área referente à captação de uma qualquer exploração é definida pela área de projeção horizontal dos seus planos.

Assim, a área de recolha de água de um edifício é dada, normalmente, pela área de implantação deste. No caso de estudo, a área de captação é de 294m².

10.4 Cálculo de volume água anual a captar

O volume anual de água da chuva a aproveitar pode ser determinado pela expressão, retirada da ETA 0701:

$$V a = C.P.A.\eta f (2)$$

³ A ANQIP é uma Associação técnico-científica da Sociedade Civil, sem fins lucrativos, que tem como objetivos gerais a promoção e a garantia da qualidade e da eficiência nas instalações prediais, com particular ênfase no ciclo predial da água e nas questões de sustentabilidade.

V a - Volume anual de água da chuva aproveitável (litros)

C - Coeficiente de run off da cobertura (tabela 2)

P - Precipitação média acumulada anual (mm)

A - área de captação (294m²)

η_f - Eficiência hidráulica da filtragem ⁴

Após consulta e cruzamento de dados do Mapa da Pluviosidade Média em Portugal Continental, elaborado pela ANQIP com base em dados do Instituto de Meteorologia, IPMA, e o ClimateData.org foi possível verificar que o valor de P em Lisboa corresponde a aproximadamente 691 mm (AM Online Projects, 2020).

Assim,

$$P = 691 \text{ mm}$$

$$C = 0,8$$

$$A = 294 \text{ m}^2$$

$$\eta_f = 0,9$$

$$\mathbf{V a = 0,8 \times 691 \times 294 \text{ m}^2 \times 0,9 = 146 270 \text{ l}}$$

Este volume de água seria utilizado para o fornecimento dos painéis, e o excesso devidamente armazenado numa cisterna para posterior distribuição pelo sistema de água do edifício.

10.5 *Armazenamento*

Os reservatórios devem ser constituídos por materiais que assegurem as necessárias condições estruturais, não porosos e que não propiciem reações químicas com a água. Tal como as outras componentes de um SAAP, o reservatório deve ser escolhido após uma análise cuidadosa dos consumos e tipos de materiais com que a água entra em contacto, uma vez que o material usado no reservatório pode contaminar a água. Outra das características importantes é a capacidade de armazenamento do reservatório. Para tal, no próximo capítulo irá ser avaliada a quantidade de água a armazenar.

⁴ Em filtros com manutenção e limpeza regulares pode ser admitida uma eficiência hidráulica (η_f) de 0,9, a menos que as características do sistema recomendem a adoção de outro valor. ETA PAG. 8/24

11. Avaliação da proposta: aproveitamento de águas pluviais

Esta fachada, localizada a norte do projeto, é capaz de captar **146 270 litros anualmente**.

Cada painel SolarLeaf, de 2.5 metros por 0.7 metros necessita de 24 litros. Logo, os painéis propostos irão necessitar de 96 litros cada. Como no projeto existem 174 painéis, para o funcionamento dos mesmos são necessários mais de **16 750 litros, no total**. A periodicidade de renovação do líquido interior depende da produção de biomassa, no entanto, é possível afirmar que não seria necessária outra forma de fornecimento de água, visto que supera o valor.

Por sua vez, o cálculo do consumo de água do Socio-Tech Centre foi feito através da consulta da tabela abaixo, onde é possível verificar que para a média de consumos globais em edifícios não habitacionais, nomeadamente para estabelecimentos de escritórios e snack, podem ser considerados os valores **de 52 litros diários por ocupante e de 15,0 litros/refeição**, respetivamente. (Soares A. M., 2010)

Tabela 3. Consumos globais em espaços comerciais. Fonte: Adão Soares.

Fonte	A	B	C	D	Média	Unidade
Tipo de Estabelecimento	Consumo Unitário					
Restaurantes	25	45		25	31,7	l/refeição
Restaurante (só cozinha)	10				10,0	l/refeição
Snack	15				15,0	l/refeição
Pubs	20				20,0	l/por lugar
Lavandarias	30		30		30,0	l/kg de roupa seca
Mercado	5		5	10	6,7	l/(m ² de área x dia)
Estações de Serviço (s/lavagem)	40				40,0	l/automóvel
Cinemas e teatros	2		5	2	3,0	l/(lugar x sessão)
Lavagem de automóveis	200				200,0	l/automóvel
Escritórios	50	15	65	80	52,5	l/(funcionário x dia)
Centro Comercial	100		40	100	80,0	l/(funcionário x dia)

Fonte:	A	Comentários Reg. Geral Port. - A.S. Afonso [8]
	B	Pedroso (2007) [2]
	C	Tomaz (1999) [7]
	D	Tese doutoramento A. Silva Afonso [1]

Centro:

A **lotação média** do centro transdisciplinar e sócio económico e de empreendedorismo é estimada em 200 pessoas. Deste modo, supondo que o centro se mantém aberto sete dias por semana, para o funcionamento destes espaços são necessários, anualmente, cerca de **3 796 000 litros**.

Restauração:

Como se trata de um snack bar pequeno, é estimado que sejam servidas até 50 refeições diárias. Sendo assim, para o funcionamento do snack bar são necessários, anualmente, cerca de **270 000 litros**.

Deste modo, é possível calcular que o gasto anual para o funcionamento do Socio-Tech Centre serão necessários **mais de 4 066 000 litros**. Como mencionado anteriormente, parte desta captação de água seria destinada a alimentar os painéis FBRs, e o excesso, seria armazenado e utilizado para as instalações sanitárias do Socio-Tech Centre.

Estima-se que o projeto todo possa coletar cerca de **365 000 litros anualmente**, o que se apresenta como um valor baixo relativamente aos consumos estimados, respondendo apenas a **cerca de 9% das necessidades**, mas eficaz no sentido de suportar os gastos de água **dos painéis FBRs, que se confirmam assim autossustentáveis neste nível**.

Mas no sentido do aproveitamento de águas pluviais, esta não se apresenta uma ferramenta suficiente para o projeto. Assim, seria recomendável aplicar outro sistema auxiliar de aproveitamento de águas pluviais na cobertura do edifício, ligado a este sistema, de modo a aumentar os valores de captação de água.

Assim, é possível concluir que não é necessário um reservatório de grande capacidade, visto que a água captada irá servir maioritariamente ao funcionamento dos painéis.

12. Organização programática da fachada

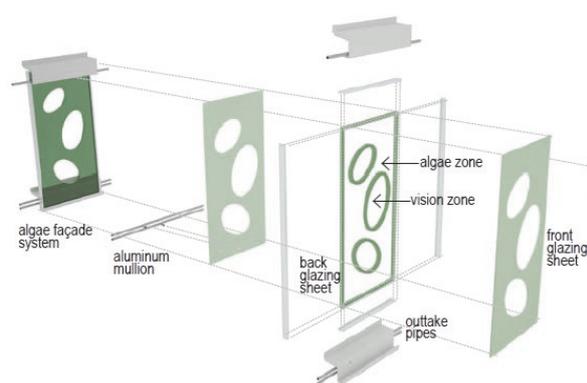
A fachada biomimética regenerativa é constituída por uma estrutura metálica em Aço Corten, que demarca a métrica para todo o projeto. Esta estrutura está dividida em dois níveis:

Subnível de acesso restrito – áreas técnicas; armazenamento de biomassa, ligação com sistema AVACS e maquinaria, cisterna;

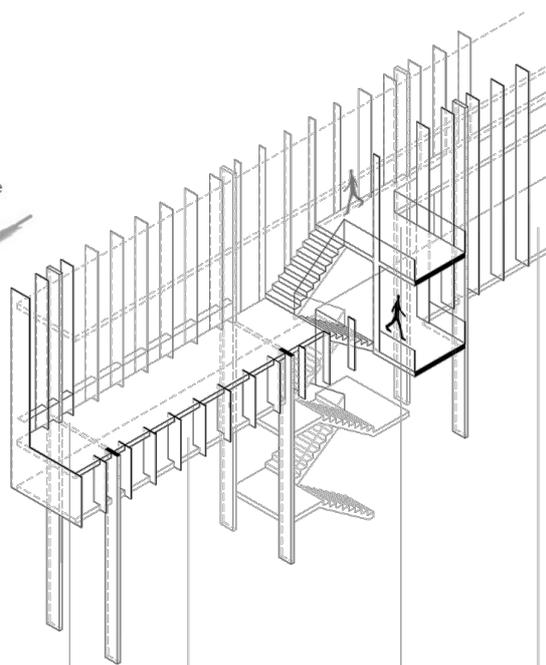
Nível percorrível – onde se encontram em contacto com os painéis FBRs de cultura de microalgas, que dariam a cor verde à fachada. As culturas de microalgas podem ser variáveis, consoante as necessidades e finalidades necessárias, obtendo assim até outros pigmentos na fachada.

Estes painéis funcionam como uma membrana adaptativa, onde existe um sombreamento responsivo – quanto maior a incidência solar, maior densidade de microalgas e conseqüente, maior opacidade dos painéis e maior sombreamento. Devido a este sombreamento, o ambiente dentro desta estrutura será mais escuro que o exterior, e assim, os painéis riam captar a luz, assemelhando-se à experiência sensorial de percorrer um aquário. (ver imagem 58, pág 100)

A estrutura metálica destes painéis ficará oculta na estrutura metálica proposta, sendo apenas visível os painéis de vidro entre a métrica proposta, novamente reforçando o conceito minimalista do projeto.



57. Detalhes do sistema de fachada. Reproduzido com autorização do autor Kyoung-Hee Lim.



56. Fachada biomimética. Axonometria. Fonte: elaborado pela autora.



58. Ilustração da espacialidade da fachada. Fonte: elaborado pela autora.

Considerações Finais

Devido à lacuna ainda existente no mercado de obtenção de fontes de energias mais sustentáveis de forma ecológica e economicamente viável, nas últimas décadas tem havido um forte impulso no cultivo de microalgas, por se apresentarem como uma boa solução a este desafio, e pelas várias outras aplicações que tem, já enumeradas anteriormente.

Deste modo, pode-se concluir que no futuro a utilização de microalgas deverá ganhar uma maior relevância, ambicionando atingir uma escala mundial, visto as suas inúmeras aplicações e vantagens. Torna-se assim imprescindível concentrar os esforços da pesquisa de todos os tipos de microalgas, sendo que apenas são conhecidas cerca de 100 das 30000 espécies existentes, pelo potencial que apresentam. Também é relevante apostar na melhoria dos sistemas de transformação de biomassa em biogás e biodiesel, uma escala industrial, e a preços mais acessíveis, pois esta apresenta-se como uma solução ótima aos combustíveis fósseis.

Enquanto SAAP, foi possível concluir que este sistema de fachada apresenta um grande nível de autossuficiência, apesar de não garantir as necessidades de água para todo o edifício, enquanto Fachada Biomimética Regenerativa, demonstra-se sustentável. A produtividade energética deste sistema apresenta ótimos valores, mas por outro lado, neste caso de estudo, a contribuição na remoção de CO₂ não cobre totalmente a produção prevista para aquela área.

Ainda assim, esta apresenta-se como um contributo relevante, e coloca um ponto de partida na reversão das alterações climáticas. Se colocarmos a hipótese de uma aplicação, à escala de toda a Cidade Universitária, destas estruturas de fachada, em cada campus, esta hipótese reforça ainda a ideia conceptual, desta ser uma grelha de união, e de tornar todos os campus interligados, transformando este espaço num *local unificado*.

Bibliografia

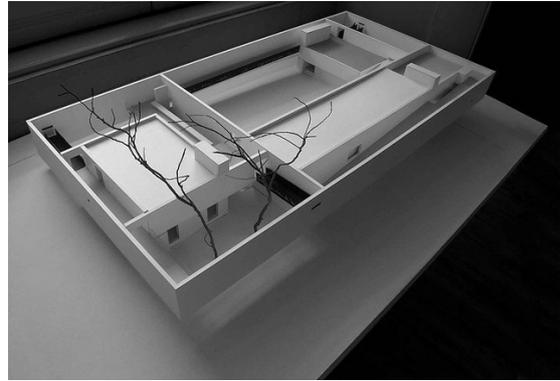
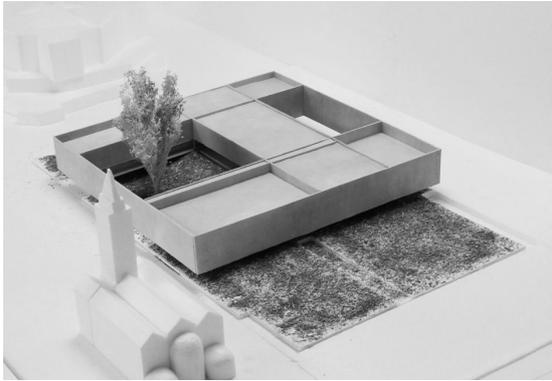
- Adene. (Maio de 2010). Manual da eficiência energética. *Guia 6: Eficiência energética*. Adene — Agência para a energia.
- AM Online Projects. (25 de julho de 2020). *CLIMA LISBOA (PORTUGAL)*. Obtido de CLIMATE-DATA.ORG: <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/lisboa/lisboa-3308/>
- Ambiente, A. P. (2020). *Desenvolvimento Sustentável*. Obtido de APA: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=140>
- Amer, N. (2019). Biomimetic Approach in Architectural Education: Case study of ‘Biomimicry in Architecture’ Course. *Ain Shams Engineering Journal*(10), 499-506.
- Andradade, D. S., & Filho, A. C. (2014). *Potencialidades e desafios do cultivo* (Vol. Microalgas de Águas Continentais). Instituto Agronomico do Paraná.
- Ask nature. (1 de Outubro de 2016). *SMIT Solar Ivy*. Obtido de Ask Nature: <https://asknature.org/idea/smit-solar-ivy/>
- Barros, K. K. (2010). Produção de biomassa de *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*) para alimentação humana. João Pessoa, Brasil: Universidade Federal da Paraíba.
- Bayhan, H. G., & Karaca, E. (2019). SWOT Analysis of Biomimicry for Sustainable Buildings – A Literature Review of the Importance of Kinetic Architecture Applications in Sustainable Construction Projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* , 1-8.
- Benyus, J. (2009). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: Harper Perennial.
- Bouabdallah, N., M’sellem, H., & Alkama, D. (25 de Julho de 2016). Biomimicry as an Approach for Sustainable Architecture Case of Arid Regions with Hot and Dry Climate. *AIP Conference Proceedings*, 1758(020003), 1-6.
- Brown, K. R., D, B., & R., T. (2019). The structural efficiency of the sea sponge *Euplectella aspergillum* skeleton: bio-inspiration for 3D printed architectures. *Journal of the royal society interface*.
- Colt; Arup; SSC. (2013). Product overview: Solarleaf. *Solarleaf – the bioreactor façade*. Colt International GmbH .
- Cuce, E., Nachan, Z., Cuce, P. M., Sher, F., & Neighbour, G. B. (2019). Strategies for ideal indoor environments towards low/zero carbon buildings through a biomimetic approach. *International Journal of Ambient Energy*, 40(1), 86-95.
- Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights*. New York: United Nations.
- Egypt, M. H. (2012). *Biomimicry: A 21st Century Design Strategy Integrating With Nature In A Sustainable Way*. *Proceedings of the First International Conference on Sustainability and the Future*. The British University .
- Elegant embellishments limited. (23 de junho de 2020). *Decorative facades that eat pollution*. Obtido de Elegant Embellishments: <http://www.elegantembellishments.net/home-1>
- Elrayies, G. M. (2017). Microalgae: Prospects for greener future buildings. *Elsevier*, 1-17.
- engenhariacivil.com. (2020). *Edifício com fachadas responsivas na Dinamarca*. Obtido de engenhariacivil: <https://www.engenhariacivil.com/edificio-fachadas-responsivas>
- Erdem Cuce, Z. N. (2019). Strategies for ideal indoor environments towards low/zero carbon buildings through a biomimetic approach. *International Journal of Ambient Energy*, 86-95.
- Eriksen, N. (2008). The Technology of Microalgal Culturing. *Biotechnology letters*, 30, 1525-1536.

- Ferwati, M. S., AlSuwaidi, M., Shafaghat, A., & Keyvanfar, A. (2019). Employing biomimicry in urban metamorphosis seeking for sustainability: case studies. *ACE: Architecture, City and Environment*, 14(40), 133-162.
- Fonseca, J. A. (2016). *Aplicação de Algas na Indústria Alimentar e Farmacêutica*. Porto: Universidade Fernando Pessoa.
- Gruber, P. (2011). *Biomimetics in architecture, architecture of life and buildings*. Alemanha: Springer-Verlag/Wien.
- Hyper Giant. (2020). *HYPERGIANT EOS BIOREACTOR*. Obtido de Hyper Giant: hypergiant.com/green/
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera . (2020). *Microalgas*. Obtido de IPMA: <https://www.ipma.pt/pt/pescas/eppo/microalgas/>
- Kim, K.-H. (2013). A Feasibility Study of an Algae Façade System. *International Conference on Sustainable Building Asia* (pp. 333-341). Charlotte, NC: SB13 SEOUL.
- Langdon, D. (07 de Março de 2016). *Clássicos da Arquitetura: Pavilhão de Portugal na Expo 98 / Álvaro Siza Vieira*. Obtido em Junho de 2019, de ArchDaily Brasil: <https://www.archdaily.com.br/br/783137/classicos-da-arquitetura-pavilhao-portugues-na-expo-98-alvaro-siza-vieira>
- M.D. Guiry, G. G. (novembro de 2020). *AlgaeBase*. Obtido em novembro de 2020, de AlgaeBase: <https://www.algaebase.org/>
- N., R. (2015). Sustainable spaces with psychological connotation: historical architecture as reference book for biomimetic models with biophilic qualities. *Int J Arch Res*.
- Opoku, A. (2018). Biodiversity and the built environment: Implications for the Sustainable T Development Goals (SDGs). *Resources, Conservation & Recycling*(141), 1-7.
- Paul, R. (2013). “*Design Inspiration from Nature – Biomimicry for a Better Planet.*”. Obtido de Inhabitat: <http://inhabitat.com/finding-design-inspiration-in-nature-biomimicry-for-a-better-planet/>.
- Pohl G, N. W. (2015). *Biomimetics for architecture & design: nature – analogies – technology*. New York, London, Switzerland: Springer.
- Ramalho, F. M. (Setembro de 2013). *Avaliação Ambiental do uso de Microalgas na Produção de Biodiesel: Revisão Bibliográfica Sistemática*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Raquel Antunes, I. S. (Dezembro de 2010). *Utilização de algas para a produção de biocombustíveis*. Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
- Sandak, A., Sandak, J., Marcin, B., & Kutnar, A. (2019). State of the Art in Building Façades. *Bio-based Building Skin, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes*. Singapura: Springer Nature.
- Semião, F. J. (Junho de 2013). *Produção de single cell oil para biodiesel a partir da microalga Chlorella protothecoides em cultivo autotrófico e heterotrófico em simultâneo com troca simbiótica de correntes gasosas em circuito fechado. Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia Biológica* . Lisboa.
- Soares, A. M. (Junho de 2010). *Análise dos Consumos de Água em Edifícios não Habitacionais. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- SOARES, T. (2016). *A Biomimética e a Geodésica de Buckminster Fuller: Uma Estratégia de Biodesign* . Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Dep. de Design do Centro de Artes de Comunicação.
- Soares, T., & Arruda, A. (novembro de 2017). *Ecomateriais Biomiméticos, um caminho eficiente para a sustentabilidade. Mix Sustentável*. Florianópolis.

- Tavzan C, T. F. (2015). Biomimicry in architectural design education. *Procedia – Soc Behav Sci*.
- Texas Water Development Board. (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Austin, Texas.
- Tokuç, A., Özkaban, F. F., & Çakır, O. A. (2018). Biomimetic Facade Applications for a More Sustainable Future. *IntechOpen*, 77-99.
- Vaculenco, M., & Podborschi, V. (2004). Natural Shapes — A Source of Inspiration for Eco-Design. *Product Engineering*, 111-120.
- Vincent J, B. O. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *J Royal Soc Interface*.
- Wolkers, H., Barbosa, M., Kleinegris, D., Bosma, R., & Wijffels, R. (2011). *Microalgae: The Green Gold of the Future, Large-Scale Sustainable Cultivation of the Microalgae for the Production of Bulk Commodities*. Países Baixos: Ministério dos Assuntos Económicos AaI.
- World Comission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.
- Yeang, K. (1995). *Designing With Nature: The Ecological Basis for Architectural Design*. Estados Unidos : McGraw-Hill.
- Zarzycki, A. (26 de julho de 2020). *Algae Façade*. Obtido de Inquires. Thoughts. Actions: <http://andrzejzarzycki.com/algae-facade/>

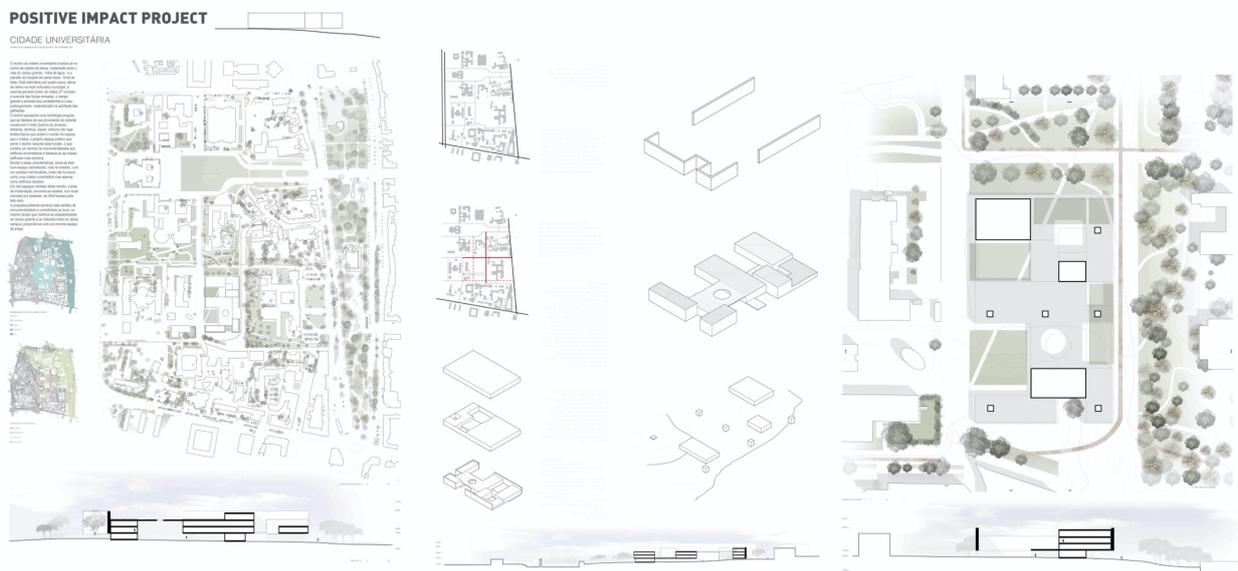
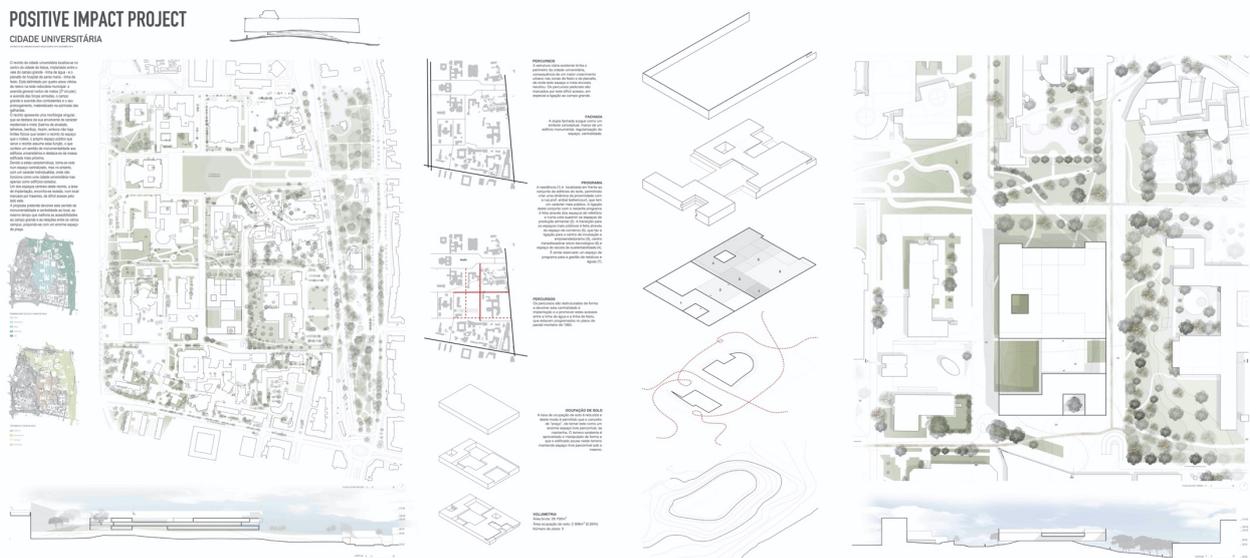
Anexos

1. Referências de projeto



59. Aires Mateus, *The Art Museum of the 20th Century*. Fonte: autoria de Manuel e Francisco Aires Mateus
60. Arq. Ventura Trindade, *Estação Biológica do Garducho*. Maquete. Fonte: autoria de Ventura Trindade arquitectos
61. Arq. Ventura Trindade, *Estação Biológica do Garducho*. Pormenor do vão. Fonte: autoria de Ventura Trindade arquitectos
63. Arq. A. Siza, *Amore Pacific*. Fonte: Fotografia de Fernando Guerra.
64. Arq. Carrilho da Graça, *Igreja de Santo António e centro social de São Bartolomeu, Portalegre*. Fonte: Fotografia de Fernando Guerra.
65. Arq. Gonçalo Byrne, *Vila Utopia*. Fonte: Fotografia de Fernando Guerra.
62. Arq. Lacaton & Vassal, *Arts et Sciences Humaines de l'Université Pierre Mendès-France*. Fonte: Lacaton & Vassal
66. Arq. Lacaton & Vassal, *Hall d'exposition, Paris*. Fonte: Lacaton & Vassal

2. Painéis das fases de grupo



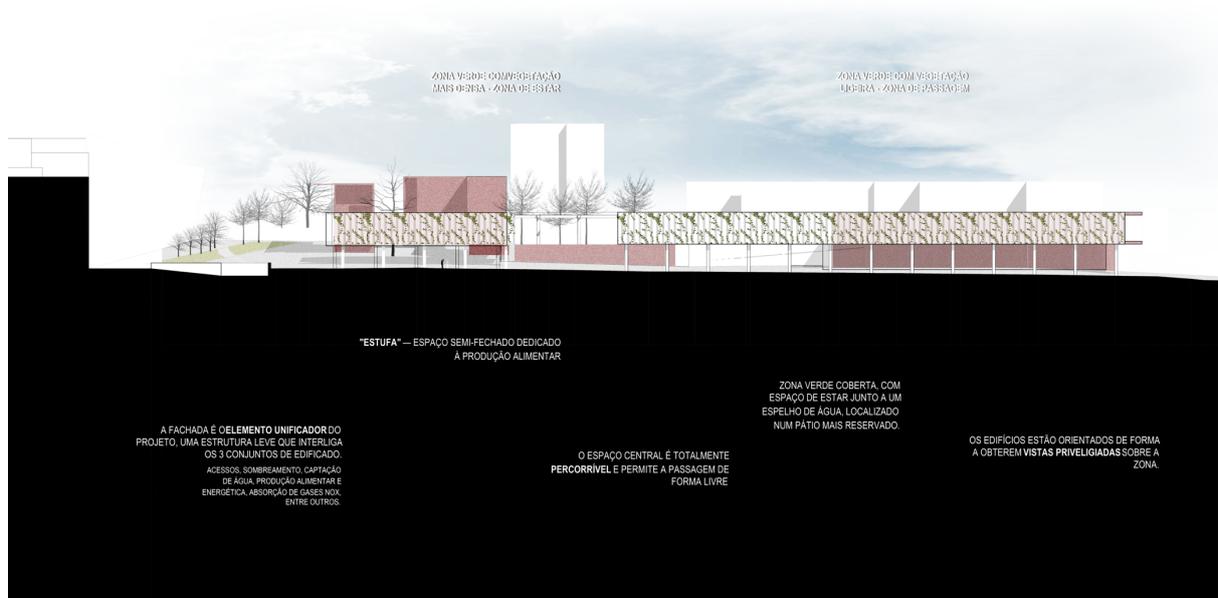
67. Primeira fase, novembro de 2019. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.

68. Segunda fase, novembro de 2019. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.



POSITIVE IMPACT PROJECT

CIDADE UNIVERSITÁRIA

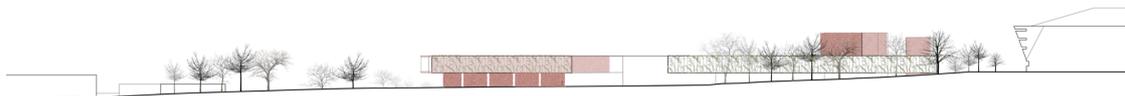
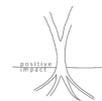


69. Terceira fase, março de 2020. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.

POSITIVE IMPACT

CIDADE UNIVERSITÁRIA

GRUPO 1 | PFA | JUNHO 2020



O recinto da cidade universitária localiza-se no centro da cidade de Lisboa, implantado entre o vale do campo grande - linha de água - e o planalto do hospital de santa maria - linha de feito. Está delimitado por quatro eixos viários de relevo na rede rodoviária municipal: a avenida general nortão de matos (2ª circular), a avenida das forças armadas, o campo grande e avenida dos combatentes e o seu prolongamento, materializado na acineta das galhardas.

O recinto apresenta uma morfologia singular, que se destaca da sua envolvente de carácter residencial e misto (bairros de alvalade, telheiras, benfica). Assim, embora não haja limites físicos que isolem o recinto do espaço que o rodeia, o próprio espaço público que serve o recinto assume essa função, o que confere um sentido de monumentalidade aos edifícios universitários e destaca-os da massa edificada mais próxima.

Devido a estas características, torna-se este um espaço centralizado, mas no entanto, com um carácter individualista, onde não funciona como uma cidade universitária mas apenas como edifícios isolados.

Um dos espaços centrais deste recinto, a área de implantação, encontra-se isolada, num local marcado por trazeiras, de difícil acesso pelo lado este.

A proposta pretende devolver este sentido de monumentalidade e centralidade ao local, ao mesmo tempo que melhora as acessibilidades ao campo grande e as relações entre os vários campus, propondo-se com um enorme espaço de praça.



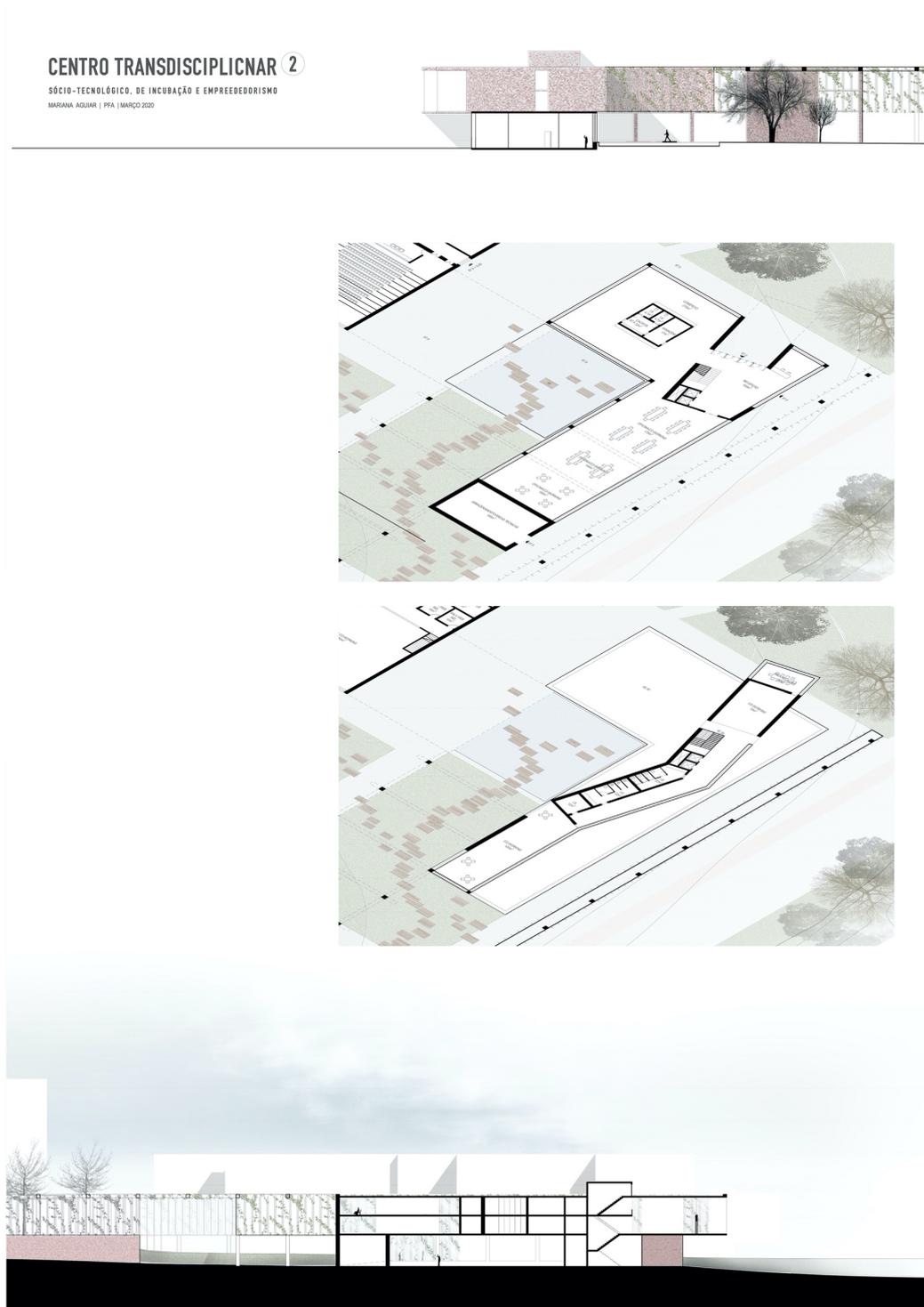
PERCURSOS PROPOSTOS

Os percursos são reestruturados de forma a devolver esta centralidade à implantação e a promover estes acessos entre a linha de água e a linha de feito, que estavam programados no plano de Pandal Monteiro de 1960.

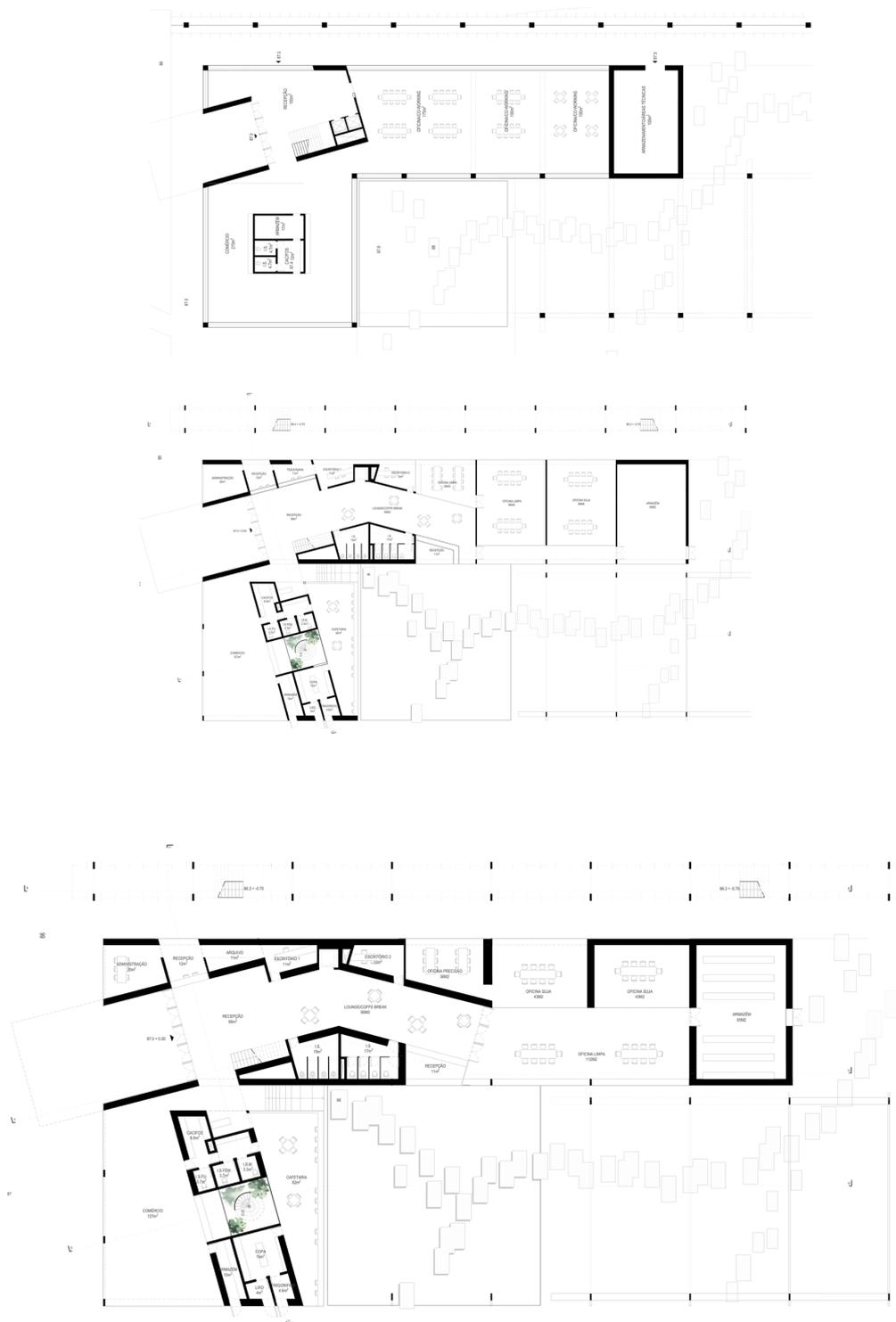


70. Painel de grupo final, junho de 2020. Fonte: elaborado por António Alves, Neuza Duarte e Mariana Aguiar.

3. Evolução do projeto individual



71. Painel individual do conceito, março de 2020. Fonte: elaborado pela autora.



72. Evolução da planta de piso térreo do projeto individual. Fonte: elaborado pela autora.



73. Evolução dos painéis individuais, de 25 de maio a 26 de julho de 2020. Fonte: elaborado pela autora.

