U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO EM ARQUITETURA

Revestimento cerâmico em fachadas - o contributo do desenho e fabricação digital

Rita Salomé Bastião

M

2019

U.PORTO

Rita Salomé Bastião. Revestimento cerâmico em fachadas - o contributo do desenho e fabricação digital

M.FAUP **2019**

Revestimento cerâmico em fachadas - o contributo do desenho e fabricação digital

Rita Salomé Bastião

FACULDADE DE ARQUITETURA

REVESTIMENTO CERÂMICO EM FACHADAS

o contributo do desenho e fabricação digital

Rita Salomé Magano Bastião

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura | FAUP | 2019

Orientação do Professor Doutor José Pedro Ovelheiro Marques de Sousa

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo acompanhamento ao longo deste percurso académico.

Aos meus amigos, pela companhia e incentivo.

Ao Professor José Pedro Sousa, pela disponibilidade, orientação e apoio dados nesta dissertação.

Aos Arquitetos Luís Pedro Silva e Pedro Campos Costa, pela conversa e pela divulgação de conhecimento.

À Vista Alegre e à Pavigrés pelas visitas às instalações.

Nota

A presente dissertação foi escrita ao abrigo do novo Acordo Ortográfico, à exceção das citações diretas.

Todas as citações diretas de textos em língua estrangeira foram traduzidas livremente.

Os nomes próprios de pessoas, edifícios e projetos em língua estrangeira não são colocados em itálico.

Algumas figuras recolhidas foram tratadas, redimensionadas e cortadas pela autora.

RESUMO

A presente dissertação procura investigar e analisar o modo como o recurso às novas tecnologias digitais influencia o desenho da cerâmica na arquitetura, concretamente como revestimento de fachadas.

Primeiramente, pretende-se a compreensão das possibilidades, propriedades e natureza da cerâmica e a sua evolução ao longo do tempo. Em consequência, são estudados os seus processos de fabrico e as especificidades técnicas inerentes à escolha deste material no projeto arquitetónico.

Como casos de estudo, recorre-se a três exemplos da arquitetura contemporânea nacional onde o desenho das peças cerâmicas é fundamental no carácter da obra construída. São eles o Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões, a extensão do Oceanário de Lisboa e o Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia, também em Lisboa.

A reflexão sobre o contributo de novos processos digitais na arquitetura é a base para uma experiência prática e criativa, que culmina na exploração digital dos módulos de revestimento cerâmico das obras em estudo.

Palavras-chave Cerâmica | Revestimento de fachada | Novas tecnologias | Desenho digital | Fabricação digital

ABSTRACT

The present dissertation seeks to investigate and analyze how the use of new digital technologies influences the design of ceramics in architecture, specifically as facade cladding.

Firstly, it is intended the understanding of the possibilities, properties and nature of ceramics and its evolution over time. Consequently the manufacturing processes and the technical specificities inherent to the choice of this material in the architectural design are also studied.

As case studies, three examples of contemporary architecture in Portugal are used where the design of the ceramic pieces is fundamental in the characterization of the building. They are the Porto Cruise Terminal, the Lisbon Aquarium extension and the Museum of Art, Architecture and Technology, in Lisbon as well.

Reflecting on the contribution of new digital processes in architecture is the foundation for a practical and creative experience that culminates in the digital exploration of the ceramic cladding pieces of the studied buildings.

Keywords Ceramics | Facade cladding | New technologies | Digital design | Digital fabrication

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS....iii
RESUMO....v
ABSTRACT....vii
SUMÁRIO....ix
LISTA DE ABREVIATURAS....xi

1. INTRODUÇÃO....1
1.1 Tema e motivação....3
1.2 Objetivos....4
1.3 Metodologia....5
1.4 Estrutura....6

2. REVESTIMENTO CERÂMICO EM FACHADAS....9
2.1 Enquadramento histórico....13
2.1.1 Contexto nacional....20
2.2 O material....24
2.3 Produção....27
2.4 Aplicação....35

3. TECNOLOGIAS DE DESENHO E FABRICAÇÃO DIGITAL EM ARQUITETURA....45
3.1 Desenho digital....49
3.2 Fabricação digital....50
3.2.1 Fabricação subtrativa....53
3.2.2 Fabricação aditiva....59
3.2.3 Fabricação formativa....64

4. CASOS DE ESTUDO....67
4.1 Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões....71
4.2 Extensão do Oceanário de Lisboa....77
4.3 Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia....83

5. EXPERIMENTAÇÃO PRÁTICA....89
5.1 Reflexão....91
5.2 Exploração digital....94

6. CONCLUSÃO....99

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....105
CRÉDITOS DE FIGURAS....115
ANEXOS....123
Anexo 1 - Entrevista ao Arquiteto Luís Pedro Silva....125
Anexo 2 - Entrevista ao Arquiteto Pedro Campos Costa....129
Anexo 3 - Definições de Grasshopper....135

LISTA DE ABREVIATURAS

APDL - Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo

APICER - Associação Portuguesa das Indústrias de Cerâmica e Cristalaria

BIM - *Building Information Modeling* (Modelação da Informação da Construção)

CAD - *Computer-Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

CAM - *Computer-Aided Manufacturing* (Manufaturação Assistida por Computador)

CNC - *Computer Numerical Control* (Controlo Numérico Computarizado)

CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

DFL - *Digital Fabrication Laboratory* (Laboratório de Fabricação Digital)

EPS - *Expanded Polystyrene* (Poliestireno Expandido)

ETICS - *External Thermal Insulation Composite Systems* (Reboco Térmico pelo Exterior)

FAUP - Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GSD - *Graduate School of Design*, Harvard University

IST - Instituto Superior Técnico de Lisboa

MAAT - Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia

MaP+S - *Material Processes and Systems*

STL - *Stereolithography Format File*

I.
INTRODUÇÃO

1.1 Tema e motivação

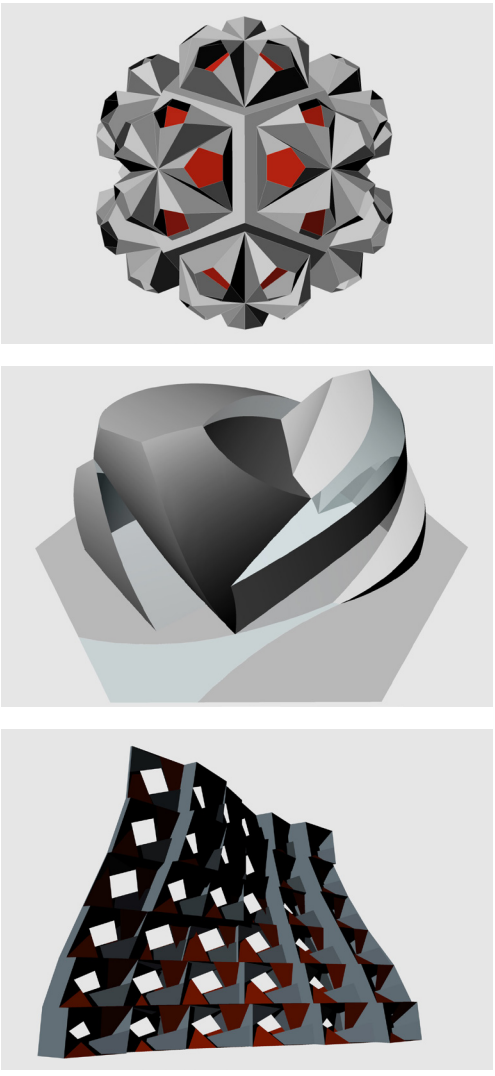
O tema da presente dissertação assenta em três áreas:

- Material - cerâmica
- Tecnologia - digital
- Projeto - revestimento de fachadas

É na interseção destes que se encontra o presente trabalho, uma reflexão e aprendizagem sobre a cerâmica no revestimento de fachadas e a sua relação com as tecnologias de desenho e fabricação digital.

Tendo como base a arquitetura contemporânea portuguesa, a investigação foca-se em três obras de referência que apresentam fachadas cerâmicas. Estas servem de mote à experiência prática que faz uso das tecnologias digitais, que potenciam novas condições para o desenho destes revestimentos, acompanhadas por processos de materialização que as viabilizam.

A temática do tijolo de face à vista enquanto revestimento é já amplamente estudada, pelo que se dá uma maior atenção ao azulejo, ladrilhos e outras peças de cerâmica.



▲ **Fig. 1** Trabalhos realizados pelo autor no âmbito da disciplina de Geometria Construtiva, em Rhinoceros e Grasshopper

A motivação pela área das tecnologias digitais na arquitetura resulta do trabalho desenvolvido na unidade curricular de Geometria Construtiva na FAUP [Fig. 1], o qual me permitiu a utilização do computador como meio para a exploração e modelação gráfica de formas e para a sua parametrização, através do uso de programas como o Rhinoceros e Grasshopper.

Ser natural de Ílhavo foi um fator decisivo para a escolha da cerâmica, uma vez que desde cedo me encontro rodeada por este material. Como azulejo nas fachadas, faiança à mesa ou porcelana na decoração, a cerâmica é um material que tem uma forte presença nesta cidade.

Assim, optei por juntar estas duas preferências num projeto que explora as potencialidades técnicas e formais da cerâmica à luz das novas tecnologias.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo primário analisar o modo como o recurso às novas tecnologias digitais influencia o desenho da cerâmica em contexto arquitetónico, mais concretamente como revestimento de fachadas.

Paralelamente, o desenvolvimento deste trabalho conduz à investigação da forma e funcionamento do revestimento cerâmico das três obras de referência, em relação à solução arquitetónica, à intenção visual e expressiva do módulo, e à forma como a tecnologia digital permite expandir os limites dos projetos.

Pretende-se também adquirir competências práticas ao nível do desenho e fabricação digital e exemplificar esse domínio através da realização de experiências.

1.3 Metodologia

De forma a cumprir os objetivos estabelecidos previamente, são adotadas metodologias que se adequam às vertentes teórica e prática desta dissertação.

Relativamente à primeira, procede-se à pesquisa e análise de informação, focada na cerâmica e nas tecnologias digitais. É também feito o levantamento de casos práticos de fabricação digital em cerâmica, pertinentes para o estudo. A bibliografia consultada abrange conteúdos disponíveis em linha, livros publicados, trabalhos académicos, memórias descritivas, artigos e catálogos de conferências e de exposições.

O processo prático assenta em duas componentes: exploração do desenho tridimensional paramétrico dos *softwares* Rhinoceros e Grasshopper; e realização de exercícios de prototipagem rápida, com a colaboração do DFL.

A recolha de documentação é complementada por entrevistas a dois dos arquitetos das obras de referência, Luís Pedro Silva e Pedro Campos Costa, assim como visitas às mesmas e ainda a duas fábricas de produção cerâmica, Vista Alegre e Pavigrés.

1.4 Estrutura

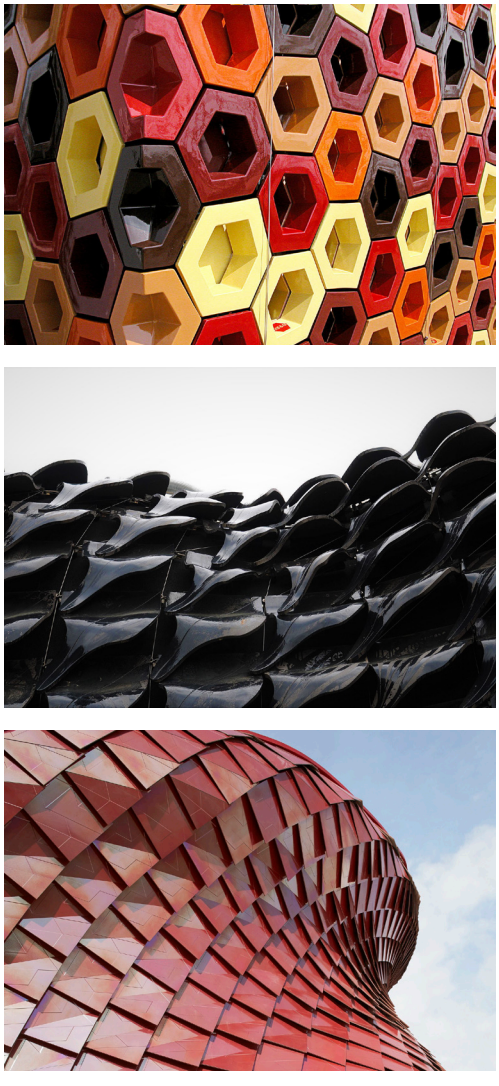
A presente dissertação está estruturada em 6 capítulos, que em seguida se descrevem de forma sintética:

- O 1º capítulo corresponde à introdução, incluindo o tema, a motivação, os objetivos a cumprir, as ferramentas utilizadas e a organização do trabalho;
- O 2º capítulo constitui uma apresentação abrangente do revestimento cerâmico em fachadas. Em primeiro lugar, é feito um enquadramento histórico da presença da cerâmica em contexto arquitetónico, com enfoque no âmbito nacional. Em segundo lugar, faz-se a caracterização científica do material, seguida da explicação dos principais processos de fabrico. Por último, são apontadas as diversas aplicações que a cerâmica pode ter em fachadas;
- No 3º capítulo, estabelece-se uma contextualização do uso atual das tecnologias digitais aplicadas à cerâmica em arquitetura. É abordado de forma mais genérica o tema do desenho digital (CAD), seguindo-se uma análise mais pormenorizada sobre a fabricação digital (CAM), por contribuir, direta ou indiretamente, no processo de fabrico da cerâmica para fachadas;
- O 4º capítulo apresenta detalhadamente os 3 casos de estudo: Terminal de Cruzeiros, Extensão do Oceanário e MAAT, na perspetiva da utilização da cerâmica como revestimento exterior, que serve de base a uma análise comparativa;
- O 5º capítulo, numa vertente mais prática do trabalho, investiga as potencialidades do material, recorrendo a tecnologias CAD/CAM. Neste ponto, faz-se uma exploração em desenho paramétrico dos componentes cerâmicos dos casos de estudo, procurando expandir os seus limites formais;
- No 6º capítulo, finaliza-se a dissertação com a apresentação das considerações finais do trabalho desenvolvido e uma sugestão de alguns desenvolvimentos futuros.

2.
REVESTIMENTO CERÂMICO EM FACHADAS

2. Revestimento cerâmico em fachadas

A fachada é o primeiro grande momento de comunicação entre o público e o edifício e, por essa razão, é um elemento basilar do projeto arquitetónico. Esta relação é essencial na vivência do espaço, não só público como privado. Nas palavras de Távora (2008: 12), *"a apreensão visual do espaço pressupõe um observador que a realize e a consideração da existência de tal observador vem enriquecer* […] *o dimensionamento do espaço."* Da aproximação ao público pode decorrer um maior sucesso, em termos de popularidade e de valorização do imóvel.



▲ **Fig. 2** Pavilhão de Espanha para a Exposição Universal de Aichi (2005), de Foreign Office Architects, Villa Nurbs (2009), de Enric Ruiz-Geli e Pavilhão de Vanke para a Exposição Universal de Milão (2015), de Daniel Libeskind

O revestimento de fachadas desempenha um papel fundamental, não só no que diz respeito aos valores estético, cultural e social que proporciona, como também à eficiência energética, conforto térmico, durabilidade, entre outros fatores. As preocupações ambientais e económicas do século XXI tornam quase obrigatório um maior rigor e exigência técnica na escolha das aplicações dos revestimentos, fazendo com que as fachadas tendencialmente aumentem as suas funções, a começar no controlo da luz, calor e ventilação e passando pela conservação de energia.

Projetos como o Pavilhão de Espanha (2005), Villa Nurbs (2009) ou o Pavilhão de Vanke (2015) [Fig.2], para além dos casos de estudo, provam que um material tão tradicional como a cerâmica tem capacidade de inovar e de se adaptar a novas exigências e requisitos técnicos, não deixando de se explorar novas formas e texturas.

Para se proceder a uma escolha cuidada e rigorosa do revestimento cerâmico, não basta procurar um material, mas um "*perfil de propriedades que se coadune com os requisitos e as necessidades de cada projeto*" (Ashby, 2007: 14).

Nos capítulos seguintes, são abordados os principais temas relativos à cerâmica em fachadas que contribuem para um conhecimento técnico e estético do material em estudo.

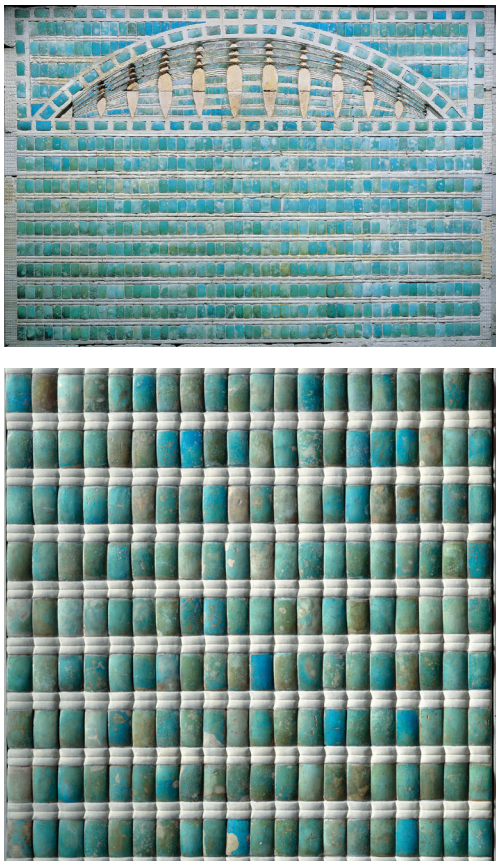
2.1 Enquadramento histórico

A cerâmica cruza a história das civilizações desde os seus primórdios, sendo um dos materiais mais encontrados em contexto de escavações arqueológicas e mais usados no fabrico de utensílios domésticos, representações artísticas e elementos arquitetónicos. Isto faz dela um material tradicional, mas que se revela moldável às mudanças de circunstâncias e, por conseguinte, intemporal. Enquanto material de construção e revestimento, a cerâmica foi acompanhando as principais tendências técnicas e estéticas que movem o panorama arquitetónico. Atualmente, este material compete com todos os outros, dada a sua plasticidade e facilidade em se adaptar a novas tecnologias, nomeadamente as digitais.

A palavra cerâmica provém do grego *keramiké*, «arte de fazer vasos de barro», que deriva de *kéramos*, «argila». Este termo designava primitivamente o trabalho feito com argila, apesar de ao longo do tempo se ter expandido, abrangendo outras técnicas e materiais. A cerâmica é usada para fazer utensílios e elementos de decoração desde o período de transição entre o Mesolítico e o Neolítico, fazendo desta uma das indústrias mais antigas do mundo. "*Historicamente, o uso da cerâmica em revestimento de pavimentos remonta ao quarto milénio a.C. no Médio e Extremo Oriente*", como afirma Grimmer *et al.* (1996: 2). Berker (2015: 292) acrescenta ainda que na mesma época surgiram paredes interiores e exteriores revestidas a ladrilho cerâmico [1].

"*Apesar da história do Egito ser longa e ilustre, conhecem-se poucos exemplos de revestimento cerâmico de parede*" (Lemmen, 2008: 12); um dos mais antigos foi encontrado na pirâmide do faraó egípcio Djoser [Fig.3], de cor azul esverdeado e vidrado [2]. O fabrico do vidro e a aplicação deste a revestir a cerâmica, que permitiu um maior uso e preservação da cor, foi a grande inovação trazida pelos egípcios.

► **[1]** Os ladrilhos cerâmicos são definidos como "*placas finas feitas de argilas e/ou outras matérias primas inorgânicas, geralmente utilizadas como revestimento para pavimentos e paredes*" (APICER, 2003: 31).



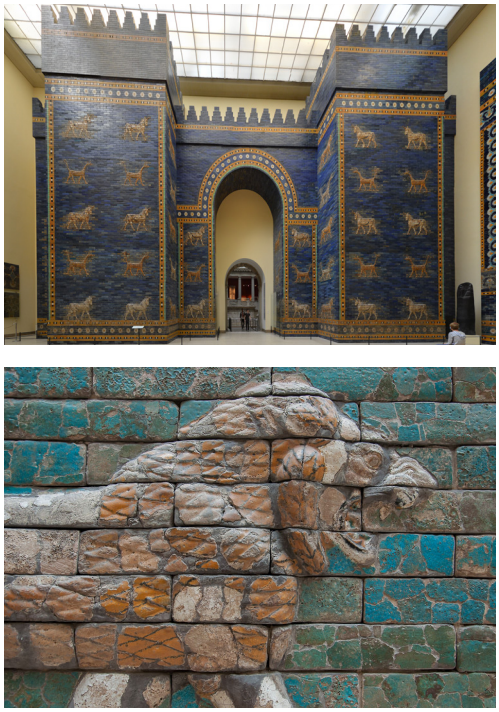
▲ **Fig. 3** Decoração das câmaras subterrrâneas da pirâmide de Djoser (século XXVII a.C.), em Saqqara (ca. 2630-2611 a.C.).

► **[2]** O termo vulgarmente usado para descrever este revestimento é "faiança egípcia", o que na verdade é um equívoco, dado que não tem qualquer relação com a "faiança" proveniente de Faenza. Enquanto a última tem argila na sua composição, a primeira é feita de quartzo, sílica, sais alcalinos e calcário (Riccardelli, 2017).

À medida que as civilizações evoluíram, "*a existência de cerâmica na arquitetura ganhou um valor estético, dependendo do conhecimento e desenvolvimento de novos métodos técnicos*" (Berker, 2015: 292). Na Mesopotâmia, havia argila em abundância, em detrimento de materiais como pedra e madeira. Foi esta civilização que impulsionou o desenvolvimento de métodos de produção do ladrilho cerâmico, sendo vastamente usado para revestimento de amplas superfícies e em edifícios de grande importância. O exemplo mais recorrido é a Porta de Ishtar [Fig.4], decorado em tons azuis, com ilustrações de animais em baixo relevo de cerâmica, especificamente tijolo vidrado.

Na Grécia Antiga (1100 a.C.–146 a.C.), a cerâmica não teve muito destaque, como revestimento, tendo sido rapidamente substituída por pedra policromada. No entanto, este povo usou a terracota [3] nas coberturas, saber esse que foi transmitido a Etruscos e Romanos (Lemmen, 2008: 15). Já os Romanos (753 a.C.–476 d.C.), com a expansão para Ocidente, levaram até à Península Ibérica a arte de decorar o chão com mosaicos [4], embora os materiais usados fossem variados. De forma semelhante à civilização grega, os Romanos usaram a cerâmica em forma de tijolos e telhas, para construção da estrutura, e menos significativamente para decoração arquitetónica.

Segundo Lemmen (2013: 35), "*desde o século IX a maioria dos países de cultura predominantemente Islâmica produzem e usam azulejos para decorar edifícios de grande importância como mesquitas, palácios, colégios religiosos, altares e túmulos*". O mesmo autor (1994: 11) adianta que o termo "azulejo" deriva do árabe *az-zulaiju* [5] e designa "*objectos achatados de argila cozida, usados no chão e nas paredes dos edifícios. Muitas vezes são vidrados, o que lhes torna a superfície impermeável, permitindo também que na sua decoração se utilize cores e muitos tipos diferentes de imagens e desenhos*".



▲ **Fig. 4** Reconstrução da Porta de Ishtar (604-562 a.C.), originalmente na Babilónia, no Museu de Pérgamo, Berlim, e pormenor decorativo de um leão

► **[3]** A terracota é constituída por argila cozida no forno que não é vidrada. "Terracota" também designa o produto feito com este material e a cor do mesmo.

► **[4]** "*Entende-se por mosaico uma composição decorativa, em duas ou mais côres, feita com pequenos cubos, ou pedrinhas de forma irregular, que podem ser de pedra natural, terracota, cerâmica, massa vidrosa ou mármore, fixados sôbre uma superfície estável*" (Mucci, 1962: 125). O mosaico foi também uma arte praticada pelos povos islâmicos.

► **[5]** Ou *al-zuleycha* ou *az-zuleij*, dependendo do autor.

► **[6]** Aniconismo é a não representação figurativa e material do universo natural e sobrenatural, que caracteriza a Religião Islâmica.



▲ **Fig. 5** Friso com inscrições e flores estilizadas de um pavilhão tumular de 1308

► **[7]** Lustre: combinação de compostos metálicos, como prata ou cobre, com o vidrado numa fina camada na superfície das peças, conferindo-lhe reflexos com a luz (Lemmen, 2013: 37).



▲ **Fig. 6** Pormenor do friso com inscrições, em ladrilhos azuis vidrados, do minarete da Mesquita de Damghan (ca. 1058)

► **[8]** Alicatado: composição parietal de pedaços monocromáticos de cerâmica vidrada, cortados em diferentes tamanhos e formatos, formando um efeito de painel colorido com um desenho geométrico mais complexo que o do mosaico.

► **[9]** Corda-seca: gravação dos motivos decorativos na placa ainda húmida. Os sulcos obtidos são preenchidos com óxido de manganês envolvido com uma gordura, garantindo a separação dos esmaltes de várias cores durante a cozedura.

Caracterizada pelo aniconismo [6], a decoração presente na arquitetura islâmica, com exceção de alguns palácios e edifícios de cariz laico, é marcada pelo amplo uso de formas geométricas, padrões abstratos e representações estilizadas de plantas, a par de inscrições em árabe, com citações do Corão [Fig.5]. Este espectro de padrões geométricos serviu de influência a culturas espalhadas pelo mundo, desde o seu período de expansão até à contemporaneidade. Embora se saiba que o uso de revestimento cerâmico islâmico tenha surgido em meados do século IX, com a descoberta de fragmentos de azulejos de lustre [7] em Samarra, uma das evidências mais antigas, ainda preservada, encontra-se no minarete da Mesquita de Damghan [Fig.6].

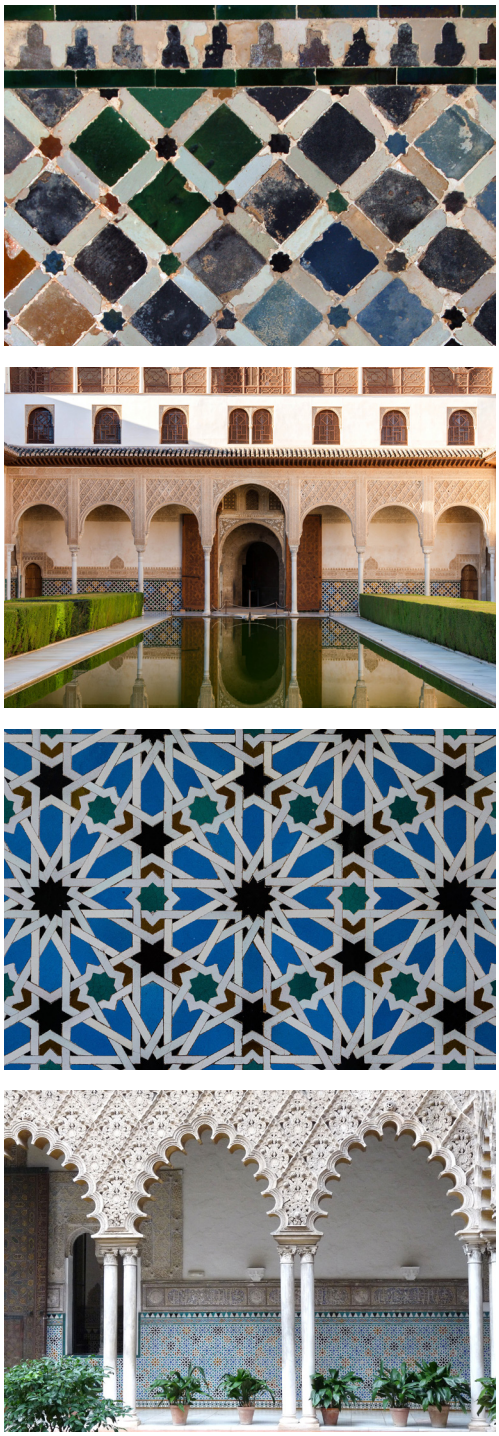
De acordo com Lemmen (2013: 37), "o*s ceramistas islâmicos foram pioneiros na técnica do lustre*" aplicada à cerâmica, a qual já era usada desde o século IV pelos fabricantes de vidro egípcios para a sua decoração. Posteriormente, passaram a empregar outros vidrados metálicos como o chumbo e o estanho, o que originou a majólica. Também aperfeiçoaram outras técnicas como o alicatado [8] e a corda-seca [9], utilizadas até ao século XIX, ainda que de forma decrescente.

A permanência dos muçulmanos na Espanha a partir de 711 d.C. deixou um legado muito importante para os séculos seguintes no que concerne à cultura e à arte. A mistura de conhecimentos artísticos de cristãos e mouros ganhou o nome de Arte Mudéjar e prolongou-se desde o século XII até meados de XVI. Durante este intervalo, a "e*volução dos motivos passou das laçarias e encadeados geométricos mouriscos para temas vegetais e animalistas europeus, entre o gótico e o puro gosto Renascença*" (Pais *et al.*, 2000: 13). Várias cidades espanholas tornaram-se grandes centros de produção de cerâmica, nomeadamente Málaga, Valência, Toledo e Sevilha.

Durante a Idade Média, o Norte da Europa também desenvolveu uma tradição de mosaicos ao estilo Gótico. "*Nesse período, usava-se os azulejos principalmente para revestir o chão das igrejas, castelos e palácios*", evocando o "*legado das tradições de construção romanas*", afirma Lemmen (1994: 15-16). O mesmo autor nomeia algumas características que distinguem os mosaicos do Norte da Europa dos hispano-mouriscos: os primeiros, para além de servirem como pavimento, apresentam "*vários motivos figurativos incrustados*", em cores sóbrias, como o castanho e o amarelo; os segundos "*eram usados principalmente em paredes*", não exibem elementos figurativos e o seu leque cromático "*é amplo, predominando o azul, laranja, verde, violeta, castanho, preto e branco*".

Os dois exemplos mais expressivos da presença árabe em Espanha são Alhambra e os Alcáceres Reais de Sevilha, os quais são revestidos com azulejos e mosaicos [Fig.7]. A produção da arte musiva em cerâmica requeria um trabalho árduo e intensivo e, para se poder dar uma resposta mais rápida e com custos menores, nas oficinas de Sevilha foi desenvolvido o método da aresta [10], a par da corda-seca.

Como aponta Meco (1985: 8), as "*transformações operadas no século XV no contexto europeu foram fundamentais para a evolução do azulejo*", que acompanhou o gosto Renascentista, em termos de técnica e decoração. Partindo de Espanha, a técnica de vidrado estanífero encontrou na Itália o seu principal centro de produção, onde ficou conhecida por majólica. Esta consistia na cobertura do azulejo com um esmalte branco opaco, de óxido de estanho, sobre a qual podiam ser pintados os motivos com pigmentos, agregados por fusão durante a cozedura. A propósito, a "*técnica do vidrado estanífero na Europa veio a ser conhecida sob três nomes principais: "majólica", "faiança" e "delft", todos eles derivados de locais ligados ao seu comércio ou manufactura*" (Lemmen, 1994: 42).



▲ **Fig. 7** Mosaico alicatado do Pátio das Murtas, Alhambra; Mosaico alicatado do Pátio das Donzelas, Reais Alcáceres de Sevilha

► **[10]** Aresta: impressão do negativo do desenho sobre a placa húmida através de um molde. As arestas criadas permitem a separação das cores durante a cozedura.

A presença do ceramista italiano Francesco Niculoso em Sevilha no início do século XVI permitiu a introdução da majólica neste centro. Não obstante, o "*apego da clientela peninsular aos tradicionais azulejos hispano-mouriscos repetitivos não favoreceu a requintada novidade*", assegura Meco (1989: 192), o que levou ao abandono quase total da produção de azulejos de majólica. Durante o século XVI, esta técnica foi levada para França, Espanha e Flandres, de onde se propagou para Holanda e Portugal, que se tornaram grandes produtores nos séculos seguintes; aqui "*se implantaram definitivamente as técnicas da majólica*" (Meco, 1985: 17).

De acordo com Mucci (1962: 80), as *"exigências da arquitetura renascentista na Europa* […] *requereram outros tipos de ornamentação mural"* para fachadas, como a escultura, o baixo relevo em pedra e a pintura, deixando o azulejo praticamente só nos pavimentos e paredes interiores. Todavia, é de salientar a adaptação da majólica à escultura em terracota, conseguida por Luca della Robbia e o seu sobrinho Andrea della Robbia, exemplificada nas fachadas da Igreja de São Domingos de Urbino e do Hospital dos Inocentes em Florença, respetivamente [Fig.8].

A transição do século XVIII para o XIX foi pautada pela Revolução Industrial, na qual a manufatura foi substituída por processos mecânicos, gerando uma produção em série e, com isso, maior rapidez na confeção de produtos e poupança dos custos de trabalho. Também esta industrialização se repercutiu nos modos de fabrico, decoração e uso da cerâmica. As matérias primas tornaram-se cada vez mais trabalhadas através de máquinas como "*misturadoras para misturar o barro, agitadores de engobe, moinhos para argila plástica, pulverizadoras para fazer pó de argila e prensas de azulejos*" (Lemmen, 1994: 102) e os fornos sofreram melhorias no que toca à sua estrutura e nos aparelhos de medição da temperatura.



▲ **Fig. 8** Tímpano do portal da Igreja de São Domingos (c. 1451), de Luca della Robbia (1400-1482), e medalhões de terracota do Hospital dos Inocentes (c. 1463-1466), de Andrea della Robbia (1435-1525)

Em 1840, Richard Prosser inventou um processo de compressão de argila em pó numa prensa de parafuso, que o fabricante de cerâmica Herbert Minton adaptou aos azulejos. A principal vantagem introduzida foi os azulejos "*precisarem de menos tempo para secar, não encolherem tanto e ser menos provável que empenassem na cozedura*" (Lemmen, 1994: 100). A primeira técnica decorativa a refletir este pensamento de massificação foi a impressão por decalcomania [11]. Estas peças [Fig.9], agora mais acessíveis, foram usadas nas fachadas como forma de decoração pontual, a destacar janelas e portas ou em frisos.

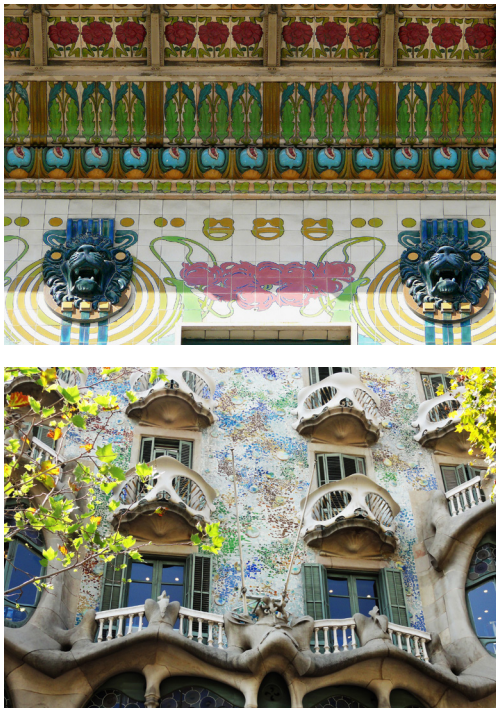
Com a aceitação da fabricação em série, gerou-se alguma dificuldade em compatibilizar a arte com a indústria, resultando em duas opiniões; por um lado, a exaltação máquina como a solução para o futuro e a possibilidade de criar bons desenhos dentro das limitações técnicas e, por outro, a continuidade da decoração manual e a perda de identidade, inovação e arte, proporcionadas apenas por *designers* (Lemmen, 1994: 135-136).

Na mudança para o século XX, os *designers* de arquitetura, imbuídos pelo espírito da *Art Nouveau* e *Art Déco*, começaram a influenciar não só o fabrico como o emprego dos azulejos, conseguindo integrar os produzidos maciçamente como os decorados manualmente, com objetivos decorativos e funcionais. Em Viena, a decoração florida e cheia de cor da fachada da Majolikahaus, que contrastava com a disposição rígida das janelas, ganhava mais complexidade e densidade à medida que a parede se estendia até ao telhado. Em Barcelona, a Casa Batlló exprimia um estilo único, mas eclético, que conciliava um material de produção em massa com uma aplicação inusitada do mesmo. A fachada ondulada foi revestida por um mosaico de azulejos partidos a dar o efeito de escamas, uma concretização que seria impossível com azulejos inteiros [Fig.10].

► **[11]** Decalcomania: consiste, segundo Lemmen (1994: 96), no uso de "*um papel de decalque ou uma folha fina de gelatina dura* […] *para passar uma imagem de uma chapa de gravação tintada para a superfície cerâmica*".



▲ **Fig. 9** Azulejo pintado por decalcomania (c. 1890) - produção de Minton, Hollins & Co



▲ **Fig. 10** Azulejos da fachada da Majolikahaus (1898-1899), de Otto Wagner, que transmite a união da beleza com a funcionalidade; expressão modernista dos mosaicos da Casa Batlló (1904-1906), de Antoni Gaudí





▲ **Fig. 11** Duas obras de Renzo Piano com revestimentos cerâmicos de fachada costumizados, Central St. Giles (2010), em cima, e Centro Botín (2017), em baixo



▲ **Fig. 12** Revestimento cerâmico da fachada do Museu da Cultura de Basileia (2011), de Herzog & de Meuron

Com o aumento das infraestruturas para os transportes – comboios e, posteriormente, metropolitano – foi necessário escolher um material de revestimento capaz de resistir ao calor e à erosão, de fácil manutenção e que proporcionasse alguma cor aos edifícios cinzentos, consumidos pela poluição existente. A cerâmica surgiu como a opção mais viável, permitindo ainda que tivesse informação escrita. Atualmente, várias redes de metro europeias – Londres, Lisboa, Paris, Madrid, entre outras – usam a cerâmica, tanto em interior como em exterior e em casos de transição, comprovando a eficácia técnica e estética deste material.

O crescente uso de estruturas de ferro e vidro, a partir de meados do século XIX, conduziu à independência entre a pele exterior e a estrutura portante, a chamada fachada cortina, substancialmente usada em edifícios industriais, como a Fábrica Fagus (1911-1913), de Walter Gropius e Adolf Meyer, e arranha-céus, como o Seagram (1958), de Mies van der Rohe. Segundo Murray (2009: 11), "*a importância desta nova tecnologia excedeu a questão física e material, obrigando os arquitetos a reconsiderar o carácter essencial da parede exterior*". Assim, os arquitetos puderam explorar diferentes formas e materiais, sendo que a implementação de materiais cerâmicos foi o passo seguinte.

São muitos os exemplos de arquitetura contemporânea que recorreram à cerâmica para fachadas em obras de diferentes tipologias como institucionais, comerciais ou residenciais, embora uma grande parte fosse tijolo ou placas *standard*, no caso de fachada-cortina, e azulejo, também *standard*, no caso de fachada com sistema aderente. Arquitetos relevantes no panorama contemporâneo como Renzo Piano [Fig.11], Rafael Moneo e Herzog & de Meuron [Fig.12] procuraram formas personalizadas, únicas e originais nas suas obras mais recentes, explorando as possibilidades plásticas e técnicas do uso das novas tecnologias nas fachadas cerâmicas.

2.1.1 Contexto nacional

A tradição da cerâmica na arquitetura nacional procedeu diretamente da arte mural islâmica, que se enraizou no Sul da Europa, embora com mais ênfase na Península Ibérica. Enquanto os muçulmanos revestiram os exteriores dos edifícios, os Portugueses até ao século XIX usaram-no predominantemente nos interiores e pavimentos de igrejas, conventos e palácios (Veloso *et al.*, 1991: 8). Da presença árabe foram herdadas não só as técnicas arcaicas de corda-seca e aresta, como os motivos geométricos e estilizados, num "*gosto mourisco pelo excesso em revestimentos decorativos totais dos espaços, espécie de horror ao vazio*" (Pais *et al.*, 2000: 13), tendência essa que se prolongou até ao período Barroco.

Os mais antigos azulejos de parede decoravam interiormente o Palácio Nacional de Sintra e eram hispano-mouriscos, de 1503, de produção sevilhana. Mais tarde, como exceção notável, foram aplicados azulejos ao longo dos jardins da Quinta da Bacalhoa [Fig.13].

A produção de azulejos em Portugal deu os primeiros passos em meados do século XVI e, segundo Reynaldo dos Santos (1957: 9), a partir daí adquiriu "*autonomia nacional libertando-se de estritas dependências estranhas e mantendo* […] *uma coerência evolutiva e uma unidade de conceito ornamental*". A cerâmica espanhola foi, então, progressivamente substituída pela nacional, influenciada pela vinda de ceramistas italianos e flamengos, que introduziram a majólica. Encontraram-se exemplares desta época, já de produção nacional, na Capela de São Roque em Lisboa, Quinta das Torres e Palácio da Quinta da Bacalhoa em Azeitão, Sé Velha de Coimbra, Igreja de Santo António de Vila Viçosa, entre outros, todos vocacionados para interiores. A contrapor esta inclinação estavam os jardins do Palácio dos Marqueses de Fronteira em Lisboa, onde a maioria dos espaços exteriores apresentava uma iconografia apoiada na azulejaria [Fig.14].



▲ **Fig. 13** Azulejos hispano-mouriscos, renascentistas e maneiristas (século XVI) decoram a Casa do Tanque e os muros do lago da Quinta, para além de bancos, varandas, escadas e canteiros



▲ **Fig. 14** Azulejos de exterior no Palácio dos Marqueses de Fronteira revestem bancos, muros, galerias, paredes, fontes, ...

O século XVII revelou um gosto por revestimentos monumentais, encomendados especialmente para se adaptarem à arquitetura de palácios e igrejas. Dado o elevado custo destas composições, empregaram-se frequentemente azulejos de repetição, de cor lisa e combinados em padrões geométricos (Pais *et al.*, 2000: 17). Segundo Pinto (1994: 132), o esquema enxaquetado "*representa uma primeira afirmação genuinamente portuguesa de revestimentos parietais* [e] *apresenta uma subtil e astuciosa evolução que chega a atingir complexidade adequada a luxuosos interiores*". Com apenas 3 tipos de peças em duas cores, geralmente contrastantes, foi possível produzir módulos de repetição de 232 azulejos até mais de 12.000, sendo que a sua característica fundamental é a colocação a 45º [Fig.15]. Pais *et al.* (2000: 17) acrescenta que "*apesar de serem baratos os azulejos, a sua aplicação era complexa e lenta, factor que tornava o processo dispendioso, levando ao seu gradual abandono*". Na transição do século XVII para o XVIII, as oficinas portuguesas apostaram na formação de pintores e técnicos de azulejaria como resposta às elevadas importações aos Países Baixos, cujas criações demonstravam superioridade técnica e visual. Consequentemente, o século XVIII ficou marcado pelo aumento da produção artística e pela criatividade das composições criadas pelos ceramistas, que assumiram estatuto de artistas. Este período designou-se de "*Ciclo dos Mestres*" (Pais *et al.*, 2000: 25).

Após o terramoto de 1755, a necessária reconstrução de Lisboa "*obrigou à reconstrução da cidade sendo para esse efeito recuperada a padronagem como meio capaz de animar uma Arquitectura que, pela urgência da reedificação, se tornara muito depurada e funcional*" (Pais *et al.*, 2000: 29). No mesmo século, Marquês de Pombal implementou um programa de industrialização a nível nacional que se repercutiu na fundação da Real Fábrica de Louça do Rato (1767), em Lisboa.



▲ **Fig. 15** Azulejos de padrão exaquetados (séc. XVII-XVIII) do Teatro Romano de Lisboa e da Capela de São Gregório, Tomar.

Na crise económica sentida entre as invasões francesas e a guerra civil, o uso e produção da cerâmica praticamente estagnaram. Contudo, o azulejo saiu do interior e voltou-se para o espaço público, num gosto introduzido pelos emigrantes portugueses que entretanto regressavam do Brasil. Para além das razões estéticas, redescobriu-se "*como material de construção de excelente qualidade para resistir a um clima tropical e equatorial húmido*" (Loureiro, 2012: 39). Efetivamente, a cerâmica conferiu, não só, cor e brilho, mas também resistência, higiene e durabilidade. As fábricas em produção no século XIX, como a Constância (1836), a Viúva Lamego (1849) e a de Sacavém (1850), utilizaram técnicas industriais ou semi-industriais, permitindo uma maior produção e redução no custo dos azulejos. Assim, o seu uso tornou-se tão popular de norte e a sul [Fig.16] que a azulejaria de exterior passou a "*igualar, senão mesmo a ultrapassar em volume, a importância ornamental destinada a interiores*" (Veloso *et al*., 1991: 8).

Ao longo do século XX, a produção sofreu algumas quebras, causadas pelas constantes mudanças nos gostos europeus, os quais Portugal tardiamente acompanhou. Motivos historicistas e revivalistas encontravam-se ilustrados em fachadas de igrejas e edifícios públicos [Fig.17]. Simultaneamente, a expressão moderna da *Art Nouveau* ornamentava habitações e edifícios comerciais com as suas cores exuberantes [Fig.16]. Portugal perdeu, "*a pouco e pouco, a originalidade e personalidade que neste campo mantivera durante cerca de três séculos*" (Pinto, 1994: 127), levando mesmo a criar-se algum preconceito em relação à sua utilização. Para resistir à queda da produção, algumas fábricas passaram a especializar-se noutros materiais de construção não decorativos, como tijolos, telhas e grés ou limitaram-se aos azulejos de interior, numa forma de poder satisfazer as tendências artísticas do momento (Queiroz *et al*., 2010: 199).



▲ **Fig. 16** Fachadas em Ílhavo, Aveiro e Lisboa, com azulejos de técnica industrial e decoração *Art Nouveau.*





▲ **Fig. 17** Painéis de azulejos em tons azuis da Capela das Almas (1929) e Igreja do Carmo (1912), no Porto





▲ **Fig. 18** Revestimento cerâmico do Edifício Parnaso (1956), de José Carlos Loureiro, e da Casa da Moeda (1938), de Jorge Segurado

A partir da década de 50, o desenvolvimento urbano que se fez sentir maioritariamente em Lisboa promoveu a introdução de novos equipamentos, como as estações da linha do metropolitano, e espaços públicos exteriores, nos quais foram convidados a intervir artistas plásticos como Júlio Pomar, Júlio Resende, Sá Nogueira e Maria Keil, entre outros. Com os seus painéis cerâmicos exploraram linguagens modernas, contribuindo para a renovação desta tradição portuguesa (Pais *et al*., 2000: 37). A cerâmica mural ganhou um novo fôlego, ainda que não tão intensamente como no século anterior, o que incentivou a reintegração do azulejo na arquitetura popular, através de arquitetos como Fernando Távora, José Carlos Loureiro ou Jorge Segurado [Fig.18].

Nos anos 90, apareceu em Portugal o sistema de fachada ventilada, que consistia no afastamento entre o suporte e o revestimento, criando uma caixa-de-ar para a ventilação natural e contínua. De entre os vários acabamentos possíveis, emergiu a cerâmica como uma opção válida. Assim, foram desenvolvidos novos produtos de revestimento, com materiais e processos de fabrico inovadores. Surgiram placas de cerâmica extrudida, grés porcelânico e porcelanato, com uma maior flexibilidade para ter diferentes cores e acabamentos. Estas placas podiam ter variadas dimensões e eram fixadas mecanicamente através de estruturas auxiliares de suporte. Desta forma se comprovou a polivalência do material cerâmico para arquitetura e a capacidade de se moldar às inovações industriais e tecnológicas.

Não obstante a plasticidade da matéria-prima, a cerâmica aplicada à arquitetura tem-se limitado a azulejos e peças normalizadas, dada a facilidade e economia da sua produção industrial. Atualmente, a introdução das tecnologias digitais na indústria abre novas oportunidades à personalização de componentes cerâmicos de fachada.

2.2 O material

A ciência dos materiais, por conveniência, agrupa os mesmos em 3 categorias básicas: metais, polímeros e cerâmicos. Adicionalmente, são "*consideradas também duas categorias* [...]*, a dos materiais compósitos e a dos eletrônicos, devido à sua grande importância na engenharia*" (Smith *et al*., 2012: 4). As propriedades físicas e mecânicas dos materiais, para além das elétricas, térmicas, óticas e magnéticas, resultam das diferentes ligações e estruturas atómicas dos mesmos.

Os cerâmicos podem ser definidos como materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos após serem submetidos a temperaturas geralmente superiores a 500ºC. São formados por elementos metálicos e não metálicos, ligados quimicamente entre si por ligações iónicas e/ou covalentes. Estes materiais, usualmente compostos por 2 ou mais elementos, podem ter uma estrutura cristalina, não cristalina ou uma mistura de ambas. Esta definição abrange, segundo Kingery *et al.* (1976: 3), um conjunto de materiais como "*terracotas, porcelanas, refratários, cerâmica estrutural, abrasivos, esmaltes porcelânicos, cimentos e vidros*", mas também materiais magnéticos não metálicos, ferroelétricos, vitrocerâmicas, entre outros produtos em desenvolvimento.

"*A dificuldade ao traçar generalizações* [de características dos cerâmicos] *é que sempre é possível encontrar uma exceção à regra. É por causa da grande variedade de propriedades exibidas que encontram aplicação em variadas áreas*" (Carter *et al.*, 2007: 3). Em consequência da elevada estabilidade química, os cerâmicos resistem a altas temperaturas, entre os 1000ºC e os 1600ºC, ao desgaste e à erosão química, por isso são usados como revestimento refratário para altos-fornos ou naves espaciais. Não só são bons isolantes térmicos, como elétricos. Estes materiais apresentam uma densidade entre os 2-3 g/cm^3, maior que a dos polímeros e menor que a dos metais, e uma dilatação térmica baixa comparada com os restantes.

Devido à natureza da sua ligação, os cerâmicos definem-se como materiais de alta dureza e fragilidade, mais resistentes à compressão e mais fracos em relação à tração. A resistência dos materiais cerâmicos é alterada pela existência de defeitos na estrutura. As causas mais comuns para as fraturas são as fendas superficiais ocorridas durante o processo de acabamento, poros, incorporação de outros elementos e grãos de maior dimensão gerados durante a queima. Em cerâmicos não porosos, a resistência do material é inversamente proporcional ao tamanho do grão. Quanto maior o grão, maior é a fenda e menor a resistência.

No campo da ciência dos materiais, os cerâmicos são comummente divididos em dois grandes grupos: os cerâmicos técnicos e os cerâmicos tradicionais [Fig.19].

Os cerâmicos técnicos são formados normalmente por compostos no seu estado puro ou quase puro, tais como a zircónia, a alumina, o carboneto de silício ou o nitreto de silício. Também denominados de cerâmicos de engenharia ou avançados, é frequente a sua aplicação em áreas como engenharias aeroespacial, eletrónica, biomédica e automóvel, por serem investigados e desenvolvidos para terem qualidades superiores, mediante o controlo da sua composição e estrutura interna. A sua produção tem tendência a ser em menor quantidade e a ter custos superiores. Podem também ter uma aplicação mais comum, nomeadamente a zircónia em facas, o carboneto de silício em anilhas e ferramentas, a alumina em sensores e velas de automóveis, entre outros.

Os cerâmicos tradicionais são processados a partir de matérias-primas naturais e são geralmente constituídos por 3 componentes básicos: a argila, a sílica e o feldspato. A argila, a base destes cerâmicos, confere a plasticidade necessária para a conformação antes do seu endurecimento. A sílica facilita a secagem e ajuda no controlo da retração. O feldspato é um fundente, ou seja, reduz o ponto de fusão.



▲ **Fig. 19** Exemplos de produtos variados que se enquadram nos cerâmicos tradicionais e nos cerâmicos técnicos.

O baixo custo dos materiais acima mencionados, devido à sua abundância na natureza, aliado às suas propriedades, faz com que continuem a conquistar posições de destaque em diversos setores industriais e artísticos. Neste grupo estão incluídos os materiais característicos da olaria, como o barro, a porcelana e a faiança, e os materiais usados na construção, como o grés, o cimento e o vidro. "*Enquanto os cerâmicos tradicionais possuem mais de 25.000 anos de existência, os cerâmicos técnicos têm sido desenvolvidos essencialmente nos últimos 100 anos*", segundo Carter *et al*. (2007: 6).

Os cerâmicos tradicionais podem ser distribuídos por diferentes setores industriais de acordo com o uso final dos seus produtos, que depende por sua vez do tipo de argila usado [Fig.20]. A seguinte classificação apenas inclui os cerâmicos silicatados de base argilosa por apresentarem maior interesse para o trabalho, daí não se mencionarem os setores do vidro, cimentos e abrasivos. A divisão é a seguinte:

• Cerâmica estrutural. Compreende os materiais para alvenaria ou estruturas sujeitas a esforços mecânicos e térmicos constantes. Neste grupo estão incluídos tijolo, telha, abobadilhas, terracota, pavimento rústico, etc.

• Cerâmica de revestimento. Materiais para pavimentos e paredes, interiores ou exteriores, que conciliam o desempenho técnico com a estética. São exemplos azulejos, ladrilhos, placas cerâmicas, etc.

• Cerâmica de louça sanitária. Abarca artigos sanitários em porcelana, grés fino e grés. A eficiência e a ergonomia são os principais fatores a ter em conta. Enumeram-se como exemplos sanitas, bidés, lavatórios, etc.

• Cerâmica utilitária e de decoração. Peças em porcelana, faiança ou terracota, para o uso quotidiano. São abrangidas peças decorativas, louça de mesa, louça de cozinha, etc.



▲ **Fig. 20** Tipos de argila: caulim, argila vermelha, refratária, argila de bola, argila para grês, bentonito, entre muitas outras variedades

2.3 Produção

Os produtos cerâmicos tradicionais são fabricados a partir de um meio granular e, depois de se conseguir a forma desejada, são endurecidos permanentemente quando submetidos a altas temperaturas. De um modo geral, o processo de fabrico envolve 4 etapas essenciais: preparação da matéria-prima e da massa, conformação, tratamento térmico de secagem e cozedura.

Como já foi referido, as principais matérias-primas dos cerâmicos são a argila, a sílica e o feldspato, que misturados em quantidades diversas e com outros constituintes dão produtos diferentes. Por exemplo, para se obter a porcelana é preciso juntar argila, quartzo, caulim e feldspato, enquanto para a faiança é preciso uma argila mais plástica, menos caulim que a porcelana e rochas cerâmicas. Os produtos podem apresentar 3 tipos de acabamento: natural, polido e vidrado. Para conseguir o vidrado, é preciso recorrer à combinação de sílica com óxidos de metal, alumina, corantes ou opacificantes.

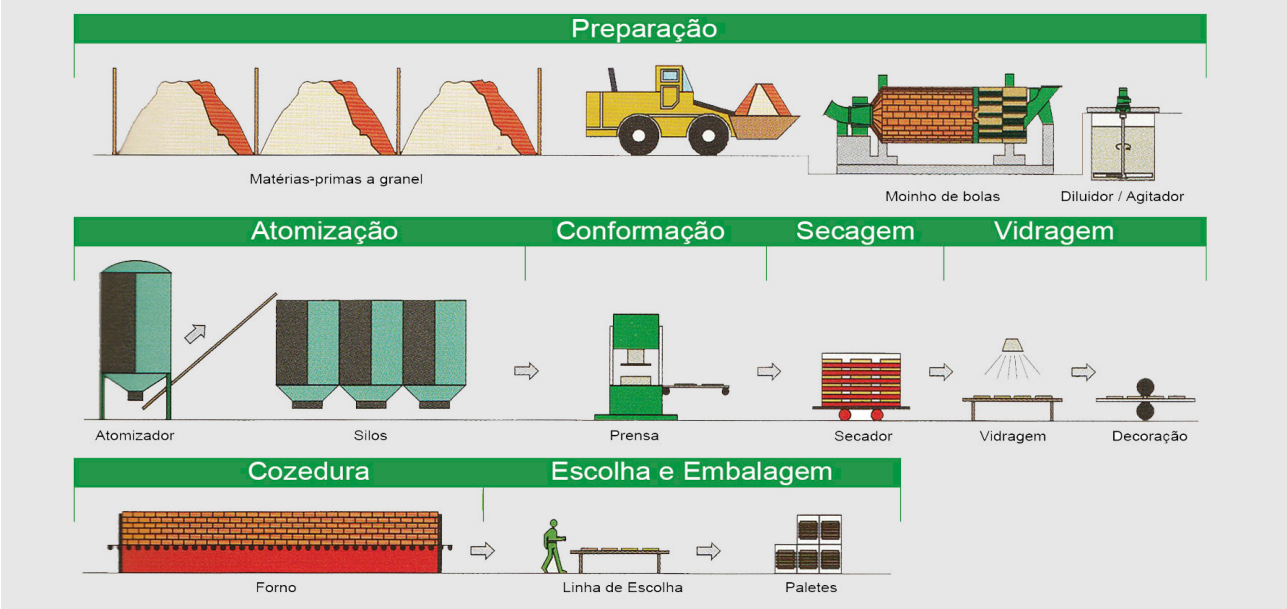
A preparação da matéria-prima requer primeiramente o seu armazenamento e dosagem na forma granular. Nesta mesma fase, misturam-se os componentes e reduz-se a sua granulometria, por moagem ou laminagem, até se obter o tamanho de partícula desejado. A moagem pode ser via seca ou húmida, sendo que a última é mais eficiente, pois gera um produto com menos impurezas. Desta forma, as argilas são diluídas em água e homogeneizadas. Esta mistura é uma barbotina. Caso a massa tenha de voltar ao estado granular, a água da barbotina é evaporada em atomizadores (APICER, 2003: 22). A secagem por atomização consiste na pulverização controlada de ar quente nas partículas em centrifugação. A massa é preparada com o teor de humidade necessário à conformação: para a prensagem é usada uma massa seca, em pó; para a extrusão, uma massa plástica, chamada de pasta; para a colagem, uma pasta líquida, para enchimento de moldes de gesso [Fig.21].

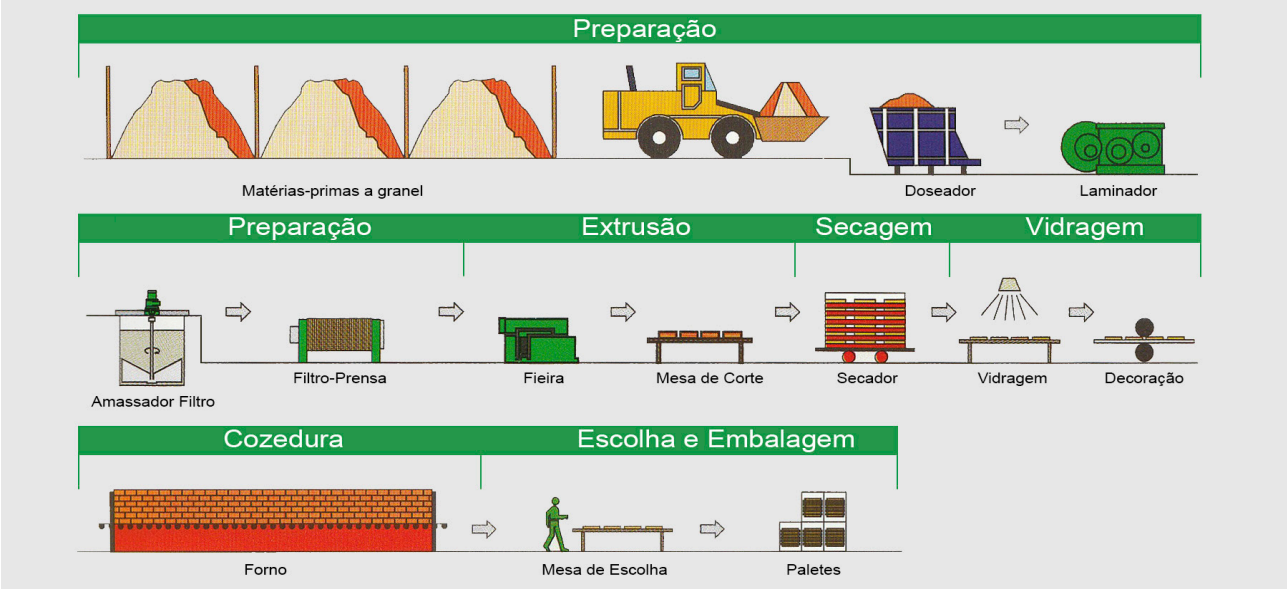
PROCESSO	Teor de Humidade
Prensagem (a seco)	0 – 7 %
Extrusão (semi-húmida)	14 – 22 %
Colagem (pasta líquida)	25 – 50 %

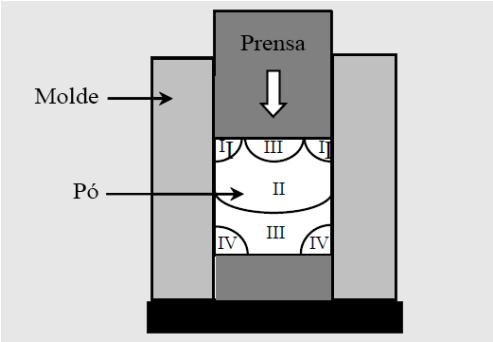
▲ **Fig. 21** Quadro com a percentagem de humidade necessária ao processamento cerâmico: pensagem, extrusão e colagem

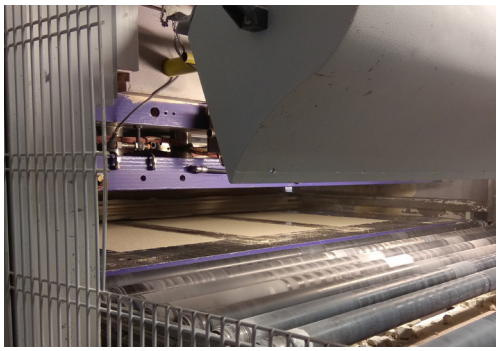
A conformação pode ser feita por via seca, semi-húmida ou húmida, consoante o tipo de produto que se procura. Para o fabrico de revestimentos, são usados essencialmente os métodos de prensagem a seco, extrusão e colagem de barbotina. Também são referidos os métodos de prensagem isostática e plástica, apesar da sua menor utilização. A escolha do processo depende fundamentalmente de fatores económicos, do volume de produção, da forma e complexidade da peça e das características do produto.

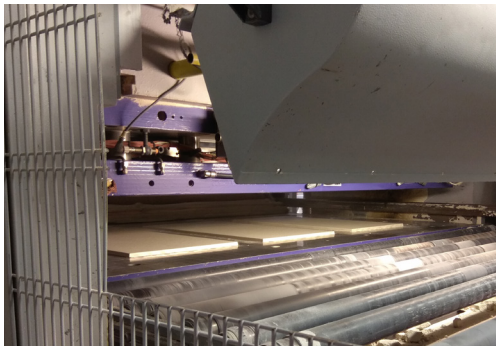
▼ **Fig. 22** Fluxogramas dos processos de conformação: prensagem a seco e extrusão semi-húmida, apresentados em APICER (2003: 21-23)











▲ **Fig. 23** Esquema da prensagem a seco; preenchimento do molde e extração das peças após prensagem - linha de produção da Pavigrés, SA



▲ **Fig. 24** Prensagem plástica: produção das peças para o Pavilhão de Espanha (2005) - produção da Ceràmica Cumella

Prensagem a seco

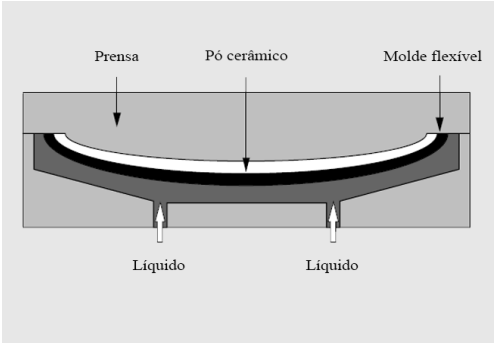
Na prensagem a seco, é usado um pó atomizado, que é compactado no interior de uma matriz rígida pela aplicação de pressão. Esta operação abrange 3 fases: preenchimento do molde, prensagem da massa e extração da peça [Fig.23]. Na prensagem unidirecional a seco, a mais utilizada na indústria de cerâmica tradicional, uma massa seca com baixo teor de humidade, usualmente inferior a 7%, é submetida a uma compressão à temperatura ambiente. Bechthold *et al.* (2015: 28) explica que "*a pressão da prensa hidráulica possibilita uma moldagem de alta precisão, em ciclos extremamente curtos, geralmente de várias peças por segundo. Ar comprimido pode ser usado para auxiliar a ejeção rápida do pó de argila prensada do molde*". Este processo confere ao produto uma elevada uniformidade e densidade e permite a redução dos problemas associados à etapa da secagem, nomeadamente a retração das peças. As dimensões, formatos e efeitos desejados obtêm-se pela utilização de cunhos e matrizes adaptadas à prensa; todavia, o seu custo é elevado, o que se justifica pela utilização em grande escala. O processo de prensagem a seco é usado para produzir placas finas como azulejo, grés porcelânico, ladrilho porcelânico e revestimento de monocozedura.

Prensagem plástica

A prensagem plástica recorre a um molde de duas faces e uma pasta com 14 a 22% de humidade, a qual é compactada numa prensa hidráulica [Fig.24]. A pressão relativamente baixa a que é sujeita permite o uso de moldes de gesso. O produto é desmoldado através da injeção de ar pressurizado pelos poros do molde. Este sistema permite conformar peças complexas, com faces de diferentes formatos e tamanhos. Embora seja pouco praticada em grande escala, o seu uso é frequente para peças individuais (Bechthold *et al.*, 2015: 32).

Prensagem isostática

Na prensagem isostática, os grânulos com 0 a 3% de humidade são colocados num molde flexível, de borracha ou outro polímero, que é fechado hermeticamente, inserido numa câmara que contém um líquido e comprimido a alta pressão. A pressão aplicada atua sobre as partes internas do molde e, consequentemente, o pó é prensado uniformemente, conservando a forma do mesmo [Fig.25]. O produto é retirado através de um sistema de vácuo. A vantagem deste processo relativamente ao unidirecional é a redução do atrito entre o pó e as paredes do molde. Desta forma, as peças apresentam uma densidade mais homogénea que garante uma presença inferior de defeitos após a sinterização. Este processo é adotado para a conformação de produtos côncavos e de linhas contínuas, como azulejos ou peças de revestimento com algum relevo.

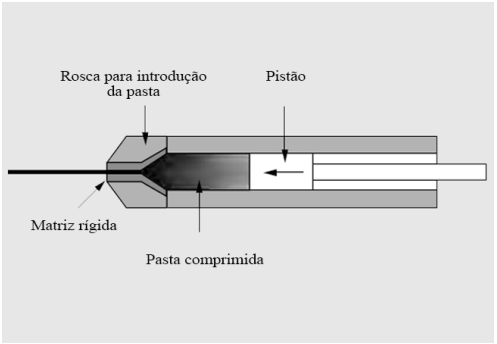




▲ **Fig. 25** Esquema representativo da prensagem isostática; prensagem de uma peça da linha de produção da Vista Alegre

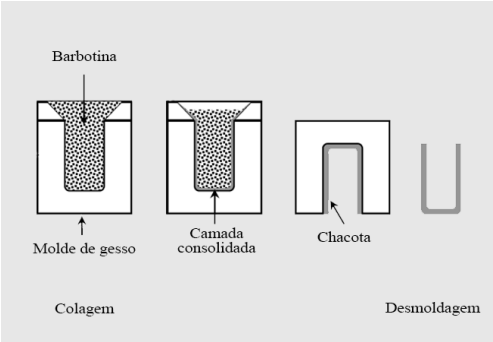
Extrusão

A conformação por extrusão por via semi-húmida é utilizada na produção contínua de peças de secção constante. Durante o processo, é adicionada água às matérias-primas já moídas até um intervalo de 14 a 22% de humidade, de modo a que a pasta resultante tenha plasticidade. Esta é colocada numa máquina, onde é compactada e forçada por um eixo helicoidal ou pistão, passando por uma matriz de aço ou liga de elevada dureza com determinado formato [Fig.26]. A matriz rígida permite que o produto seja vazado, como um tijolo, por exemplo. Como resultado, obtém-se uma coluna de material com secção transversal com a forma e dimensões desejadas; em seguida, é cortada com o comprimento e largura pretendidos. Este método é aplicado no fabrico de placas de grés, de terracota e de *klinker*. Normalmente os revestimentos cerâmicos extrudidos não têm decoração, apesar de poderem ter um acabamento natural ou vidrado.



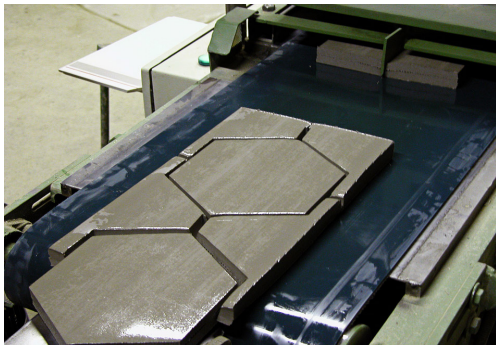


▲ **Fig. 26** Esquema representantivo da extrusão por via semi-húmida; peças extrudidas da linha de produção da Keratec, Aleluia Cerâmicas





▲ **Fig. 27** Esquema do processo da colagem de barbotina; enchimento com pasta líquida do molde de gesso





▲ **Fig. 28** Processos pós-conformação: corte com matriz hexagonal; revestimento de fachadas nos moldes de suporte, ambas da Ceràmica Cumella

Colagem de barbotina

A colagem de barbotina, também chamada de enchimento ou vazamento, é definida como a consolidação de partículas cerâmicas de uma suspensão, a barbotina, mediante a extração da parte líquida por um molde absorvente. Este método pode ser sintetizado em 4 fases: elaboração do molde, preparação da barbotina, colagem e desmoldagem. A suspensão é vazada para o interior do molde, geralmente em gesso, o qual absorve parte do líquido pela pressão atmosférica. As partículas de pó, em suspensão na água, formam uma parede de material semiduro junto à superfície do molde [Fig.27]. As tecnologias mais recentes usam alta pressão para acelerar a absorção, recorrendo a moldes especiais em materiais sintéticos. Após a formação da parede com a espessura desejada, o excesso é retirado do molde. Para se conseguirem peças maciças, deixa-se a parede aumentar até se preencher toda a cavidade. Este processo de fabrico permite obter formas relativamente complexas, com paredes finas e uniformes e economia em pequenas produções, devido ao baixo custo dos moldes. É, todavia, moroso, o que não compensa em grandes quantidades.

Para o componente cerâmico adquirir a sua forma final, nem sempre basta um método de conformação. Após extrusão, o material sofre um corte (*die-cutting*) ou é colocado num molde de suporte (*slump molding*) [Fig.28]. Por um processo, a peça é fendida com uma matriz de metal, que é oleada para evitar agarrar-se à pasta. Os remanescentes do corte voltam a ser usados. Por outro, a peça é colocada num molde de apenas um lado, onde se conforma pela força da gravidade. "*Este método é, na sua maioria, manual e o material do molde varia desde a madeira, ao gesso, a poliestireno expandido*" (Bechtold *et al.*, 2015: 31). A personalização de peças é facilitada com estes dois sistemas, pois a produção não é interrompida.

Após a conformação da cerâmica, procede-se à secagem, de modo a remover a água livre residual do corpo cerâmico. Geralmente os produtos passam por secadores a temperaturas inferiores a 150ºC.

As etapas da vidragem e da decoração podem ocorrer ou não. O vidrado, também conhecido como esmalte, é usado como revestimento, para decoração, impermeabilização e para melhorar a propriedade mecânica da peça. O vidrado pode ser aplicado de diferentes maneiras, dependendo do efeito que se pretende, e pode adquirir tonalidades variadas conforme a sua composição química, temperatura e duração da queima.

Em seguida, os materiais cerâmicos são cozidos em fornos contínuos ou descontínuos a temperaturas superiores a 1100ºC, durante cerca de 45 a 90 minutos [Fig.29]. Durante a queima ocorrem dois fenómenos: a vitrificação, caso a peça tenha passado pela fase da vidragem, e a sinterização, que é a solidificação das partículas entre si. Existem dois processos principais: a monocozedura e a bicozedura. "*O processo mais evoluído de fabrico de ladrilhos e azulejos é designado por monocozedura, dado que os produtos passam apenas uma vez no forno para cozedura da pasta cerâmica e fixação de vidrados e decorações*" (APICER, 2003: 21), o que faz com tenham mais resistência à abrasão superficial e menor absorção de água. "*No processo de bicozedura é primeiro cozida a pasta, obtendo-se o biscoito ou chacota e depois é feita a vidragem, a decoração e finalmente a segunda cozedura*." (APICER, 2003: 21)

Após a queima, os produtos cerâmicos são escolhidos e separados em linhas próprias, atualmente de modo automático. As peças são classificadas como sendo de 1ª ou 2ª escolha, em que a primeira não tem defeitos visíveis (tonalidade, desenho, textura, cantos, etc.) e a segunda apresenta pequenos defeitos que não prejudicam a aplicação e o desempenho.



▲ **Fig. 29** Etapas da secagem, vidragem e cozedura em forno contínuo - linha de produção da Pavigrés, SA

Os revestimentos cerâmicos para fachadas apresentam variados feitios e tamanhos, sendo os mais utilizados os ladrilhos, por serem produtos padronizados, mais acessíveis e de custo inferior, tanto para as empresas como para os consumidores. Os ladrilhos cerâmicos estão definidos como "*placas finas feitas de argilas e/ou outras matérias primas inorgânicas, geralmente utilizadas como revestimentos para pavimentos e paredes, usualmente conformadas por extrusão ou prensagem à temperatura ambiente, mas podendo ser moldadas por outros processos, em seguida secas e subsequentemente cozidas a temperaturas suficientes para se obterem as propriedades requeridas; os ladrilhos podem ser vidrados (GL) ou não vidrados (UGL), são incombustíveis e não são afectados pela luz*" (APICER, 2003: 31) [12]. Com esta descrição em mente, todos os revestimentos que nela não se enquadram são designados genericamente de peças cerâmicas.

Os ladrilhos cerâmicos são classificados em função da porosidade, medida através da percentagem de absorção de água (E), e do processo de conformação a que foram submetidos – extrusão, prensagem a seco e outros processos –, agrupando-se mediante as suas características, conforme apresentado no quadro seguinte [Fig.30].

► **[12]** Definição da Norma EN 14411 – Ladrilhos cerâmicos. Definições, classificação, características e marcação.

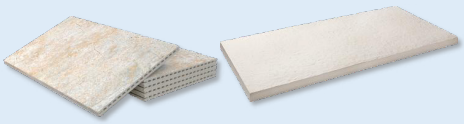
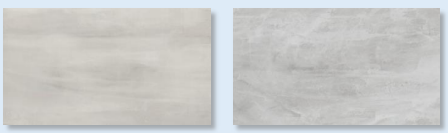
▼ **Fig. 30** Classificação de revestimentos (a preto) e pavimentos (a cinzento) cerâmicos segundo a norma EN 14411 – quadro adaptado de APICER (2003: 19) pelo autor

PROCESSO DE FABRICO	Absorção de água (E)				
	Muito baixa	Baixa	Média		Alta
	E ≤ 0,5%	0,5 < E ≤ 3%	3% < E ≤ 6%	6% < E ≤ 10%	E > 10%
(A) Extrudido	AI		AIIa	AIIb	AIII
	Grés extrudido		Grés extrudido Klinker Tijoleira rústica	Terracota Tijoleira rústica	Tijoleira rústica
(B) Prensado a seco	BIa	BIb	BIIa	BIIb	BIII
	Porcelânico Pavimento em grés Klinker	Grés porcelânico Pavimento em grés Klinker	Pavimento de monocozedura	Revestimento de monocozedura	Azulejo
(C) Outros processos (moldagem manual)	CI		CIIa	CIIb	CIII
	-		Pavimento rústico	Pavimento rústico	Azulejo Pavimento rústico

A absorção de água é uma propriedade da cerâmica diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade da peça. Características como a resistência ao impacto, a resistência mecânica, a resistência ao gelo e a resistência química estão relacionadas com esta propriedade. Os revestimentos cerâmicos possuem uma variação de absorção de água desde o praticamente zero até cerca de 20%. Os materiais do Grupo I, como o grés extrudido, o grés porcelânico e o porcelanato (ladrilho porcelânico), são mais resistentes, o que os torna adequados a ambientes exteriores. O azulejo, pertencente ao Grupo BIII, compensa a alta absorção de água com a vidragem da superfície. Contudo, a impermeabilidade e a baixa resistência à abrasão, mesmo estando esmaltada, não o tornam ideal para uso em fachadas, salvo em climas com temperaturas suaves.

O conjunto dos produtos correspondentes às categorias indicadas na norma EN 14411 são apresentados no quadro seguinte [Fig.31].

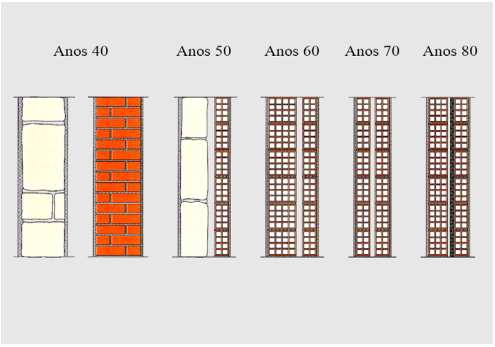
▼ **Fig. 31** Designação comercial e caracterização dos principais tipos de ladrilhos cerâmicos para aplicação em fachadas - quadro adaptado de APICER (2003: 20) pelo autor

Designação principal	Exemplos	Tipo de grão	Cor da pasta	Tipo de superfície	Tipo de fixação
Grés Extrudido		Grosseiro	De cinzenta a creme	Natural ou vidrado	Mecânica
Grés Porcelânico		Grosseiro	De cinzenta a creme	Natural, vidrado ou polido	Aderente ou mecânica
Ladrilho Porcelânico		Fino	De branca a creme ou com efeitos especiais	Natural, vidrado ou polido	Mecânica
Ladrilho Terracota		Grosseiro	De cor rosa a vermelho	Natural ou vidrado	Aderente ou mecânica
Azulejo		Grosseiro	De branco a rosa	Vidrado	Aderente

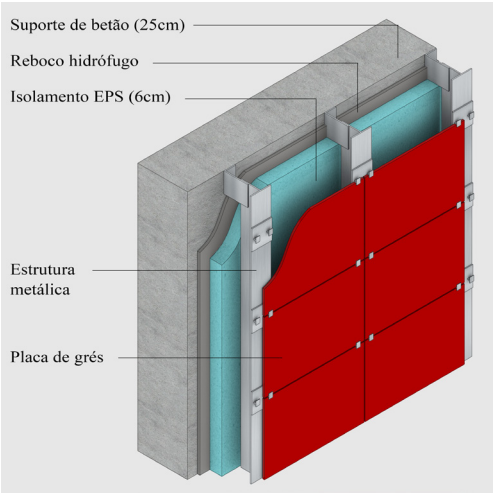
2.4 Aplicação

A construção de paredes exteriores de fachada tem demonstrado uma constante evolução ao longo dos anos [Fig.32], devido ao progresso da técnica e da tecnologia, à introdução de novos materiais e a uma atenção constante ao conforto térmico, acústico e higrotérmico. A princípio, a solução resumia-se a paredes simples de grande espessura, em pedra ou tijolo maciço. Com o tempo, o conhecimento sobre o comportamento dos materiais foi aumentando, o que resultou no aligeiramento dos paramentos, redução da espessura e do peso dos materiais de construção, duplicação da parede, colocação de elementos pré-fabricados e incorporação de materiais isolantes. Com a finalidade de minimizar as pontes térmicas e o risco de ocorrência de condensações, surgiram, nos anos 90, técnicas de isolamento térmico, pelo interior ou exterior, e de fixação mecânica do revestimento (APICER, 2000: 50). Estes processos inovadores possibilitaram o retorno das paredes simples e deram origem a dois sistemas: fachada cortina e ETICS.

A fachada cortina [Fig.33] está definida pela norma EN 13830 como um sistema constituído por perfilamentos estruturais verticais e horizontais, ligados entre si e fixados à estrutura do edifício, com preenchimento, formando um revestimento contínuo leve que proporciona todas as funções exigíveis de uma parede exterior, embora não suporte qualquer tipo de carga afeta à estrutura do edifício. Esta solução dispõe de uma caixa-de-ar que tem como funções a interrupção da capilaridade e a drenagem por gravidade e que pode ser estanque ou ventilada. Se for a última, tem a designação de fachada ventilada. Neste sistema, a principal característica é o afastamento entre o suporte e a camada que a reveste, originando assim "*um espaço de ar ventilado* [que] *deverá permitir a evacuação da humidade que possa surgir por eventual infiltração através do revestimento exterior ou de eventuais condensações*" (APICER, 2003: 140), pelo chamado efeito chaminé.



▲ **Fig. 32** Evolução das paredes exteriores em Portugal



▲ **Fig. 33** Exemplo de uma fachada cortina com caixa-de-ar ventilada

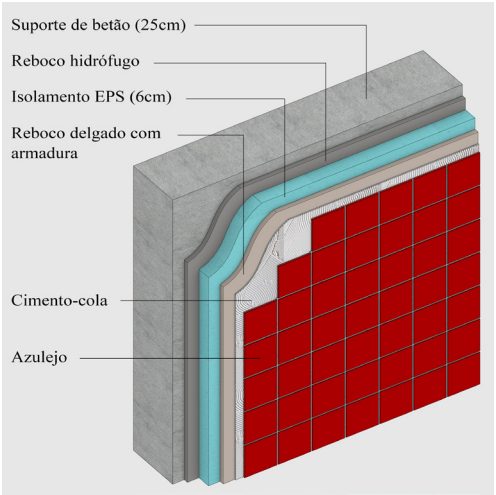
O ETICS [Fig.34] consiste na aplicação contínua de um isolante térmico no exterior, sobre o qual é diretamente aplicado um reboco e decorado posteriormente com pintura ou revestimentos de proteção com resistência mecânica apropriada, como por exemplo ladrilhos cerâmicos.

Os produtos cerâmicos, para serem aplicados em fachadas, devem responder a determinadas exigências funcionais que satisfaçam seis requisitos fundamentais: resistência mecânica e estabilidade, segurança em caso de incêndio, higiene, saúde e ambiente, segurança na utilização, proteção contra o ruído, economia de energia e retenção de calor. Para além disso, "*existem ainda outras exigências que devem ser equacionadas na concepção e projecto de sistemas de revestimento cerâmico, nomeadamente exigências de compatibilidade com o suporte, de conforto visual e táctil, de durabilidade e adaptação à utilização normal*" (APICER, 2003: 72).

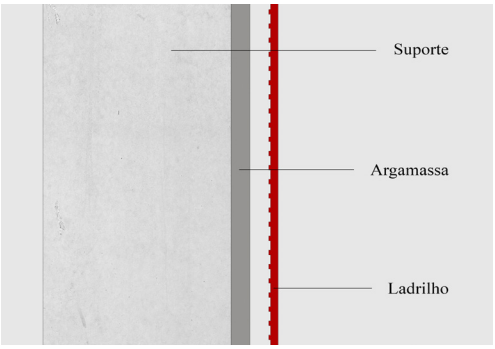
Para uma aplicação em fachadas, os cerâmicos precisam de um conjunto particular de características que garantam o bom funcionamento do revestimento do edifício. Assim, segundo a APICER (2003: 124), "*a resistência à ação do gelo e o coeficiente de absorção da radiação solar são factores a ter em conta, mas sem relevância em revestimentos interiores*". Além destes, também é necessário tomar em consideração a expansão por humidade e a dilatação térmica linear e, para peças vidradas, resistência à fendilhagem.

A aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas tem acompanhado o desenvolvimento dos produtos e as técnicas de fixação. Cada vez mais é necessário responder a situações fora do *standard*, que implicam a criação de alternativas ao tradicional, seja pelas dimensões e formatos dos componentes, seja pelo desenho da própria fachada.

De modo geral, são considerados dois sistemas de aplicação baseados na fixação: por contacto e mecânica.

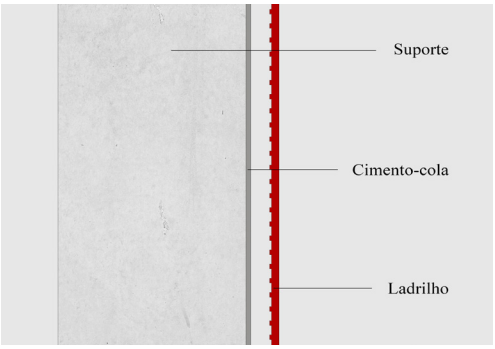


▲ **Fig. 34** Exemplo de uma fachada revestida com o sistema ETICS



▲ **Fig. 35** Sistema aderente tradicional - aplicação do material de colagem (argamassa) em camada espessa (5 a 20 mm)

► **[13]** A aplicação em camada espessa é a grande vantagem deste método, pois permite compensar os desnivelamentos do suporte. As desvantagens são a menor tensão de adesão no ladrilho, maior sobrecarga da estrutura, traço aleatório, longo tempo de aplicação e adequação apenas a materiais muito porosos.



▲ **Fig. 36** Sistema aderente colado - aplicação do material de colagem (cimento-cola) em camada fina (2 a 5 mm)

► **[14]** Este produto apresenta alta flexibilidade e, por isso, é recomendado para peças de pequeno e grande formato com porosidade alta e baixa. É preciso ter alguns cuidados, como a aplicação após boa estabilização do suporte, a baixa porosidade do suporte e controlar a espessura, que não deve ultrapassar 10mm.

Fixação por contacto

"*Colar é provocar a adesão entre dois corpos distintos que se mantêm unidos por forças coesivas de origem molecular.* […] *O fenómeno essencial que permite a fixação tem a ver com o desenvolvimento de estruturas cristalinas que interpenetrando os poros dos materiais criam microestruturas rígidas que mantêm os materiais unidos*" (APICER, 2003: 151). O sistema de revestimento aderente é composto pelas peças cerâmicas, material de colagem e as juntas, para além do suporte e eventuais camadas intermediárias. A seleção dos materiais, a sua adequação ao uso, a instalação e manutenção são fatores que influenciam a qualidade e durabilidade da fachada.

Para a execução da colagem de cerâmicos existem dois métodos: através de i) argamassas tradicionais ou de ii) cimentos-cola e colas. Em qualquer um destes, os aglutinantes podem ser espalhados diretamente no suporte (com ou sem camada de regularização), no tardoz da peça ou nos dois em simultâneo.

i) O sistema tradicional [Fig.35] faz uso de argamassas como meio de fixação em camada espessa [13], que têm uma ação complementar de regularização das superfícies a revestir. A argamassa é um produto composto por ligantes (cimento, cal ou gesso), agregados (geralmente areia) e água, misturados em obra. Atualmente este método tem pouca utilização, especialmente em paredes exteriores.

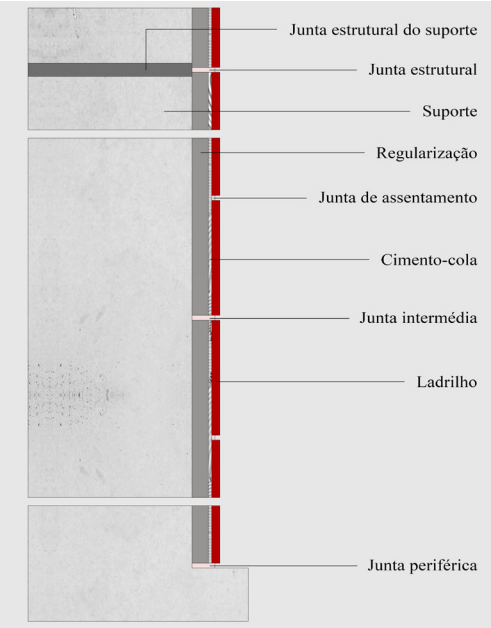
ii) O sistema aderente colado recorre a uma mistura de ligantes hidráulicos, cargas, aditivos e adjuvantes, preparados e pré-doseados em fábrica, aplicados em camada fina [Fig.36]. Estes dividem-se em cimento-cola, cola em dispersão aquosa e cola de resina de reação. Os cimentos-cola de ligantes mistos orgânicos e inorgânicos [14] são os mais adequados a revestimentos de fachadas. Estes são formados por cimento branco ou cinza, areias siliciosas e calcárias com aditivos orgânicos e inorgânicos.

Tendo em conta os movimentos estruturais dos edifícios devido a variações térmicas e de humidade, peso das estruturas e outras cargas concentradas e distribuídas, devem ser definidas e instaladas juntas [Fig.37], de forma a permitir a ligeira deformação que pode ocorrer no sistema de revestimento. "*Designam-se por juntas todos os sistemas que interrompem a continuidade de uma estrutura*" (APICER, 2003: 172). Estas constituem ainda "*a única zona do revestimento por onde pode ser libertado qualquer tipo de humidade contido no suporte*" ou no revestimento, principalmente quando o mesmo é impermeável (Silvestre *et al*., 2009: 82). As juntas podem ser de dois tipos: i) de construção e ii) de assentamento.

i) A finalidade das juntas de construção é evitar o risco de destacamento e fraturas provocadas pelos movimentos da estrutura (contração, expansão e flexão). São feitas com um material flexível, em obra ou pré-fabricadas. Há 3 grupos de juntas: estruturais [15], periféricas [16] e intermédias [17].

ii) As juntas de assentamento correspondem aos espaços entre as peças cerâmicas [Fig.38], também preenchidos com um produto flexível que visa atenuar as tensões consequentes da aplicação do revestimento. Têm como finalidade facilitar o alinhamento das peças, melhorar a aderência ao suporte, impedir a passagem da água entre o tardoz e a cola e facilitar a remoção das peças, caso haja necessidade.

As juntas entre ladrilhos podem ser preenchidas com argamassas à base de cimento ou à base de resinas de reação. As mais tradicionais são a calda de cimento (para juntas de 1 a 4mm) e a argamassa de cimento (mais de 4mm), e são mais aptas para uso em interiores. As de base resinosa são usadas em zonas mais expostas a agentes agressivos, como os exteriores. Ambos os materiais podem ver as suas qualidades melhorar com a adição de adjuvantes líquidos ou elásticos.



▲ **Fig. 37** Localização das juntas estruturais, periféricas, intermédias e de assentamento no suporte

► **[15]** As juntas estruturais visam absorver os movimentos previstos em projeto e, por isso, posicionam-se sobre e na continuação das já existentes juntas estruturais do suporte.

► **[16]** As juntas periféricas são feitas nos limites da superfície revestida e servem para impedir que os elementos adjacentes possam limitar as deformações do revestimento.

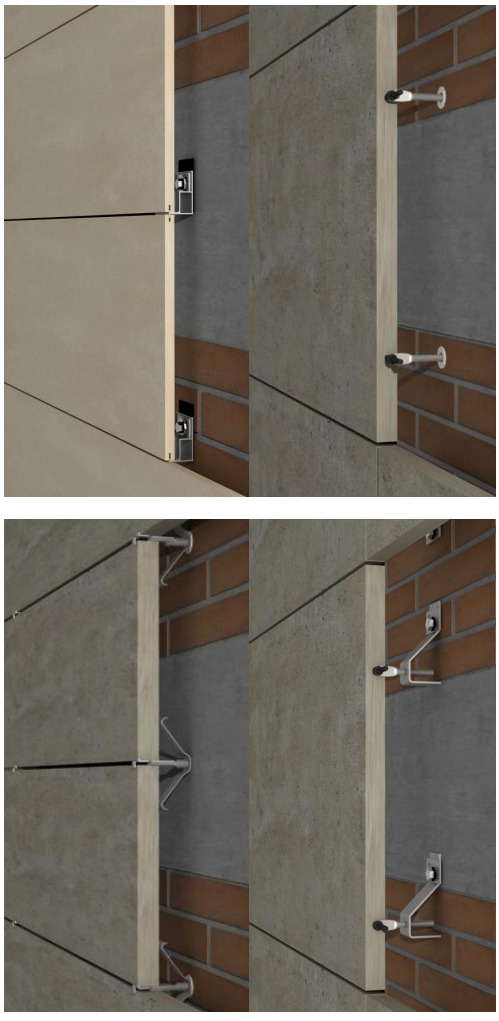
► **[17]** As juntas intermédias, ou de fracionamento, fazem a divisão de áreas extensas em áreas menores e têm como objetivo evitar a fissuração e o descolamento das peças. Têm uma profundidade adequada para penetrar a totalidade da espessura do reboco de suporte.

TIPO DE LADRILHOS	Espessura mínima das juntas entre ladrilhos (mm)
Prensados S ≤ 500 cm²	2
Prensados S > 500 cm²	3
Ladrilhos terracota e extrudidos	6
Restantes materiais	4

▲ **Fig. 38** Espessuras recomendadas para as juntas entre ladrilhos fixados por contacto – quadro adaptado de APICER (2003: 136)

Fixação mecânica

A fixação mecânica de revestimento é a técnica usada no sistema de fachada cortina, pelo que os dois conceitos não se podem dissociar. O projeto e o desenho da fachada devem ter em conta as dimensões das peças para, por um lado, impedir que estas sofram cortes, e por outro, evitar gastos desnecessários com a subestrutura. Um maior número de peças, logo com menores dimensões, equivale a uma maior quantidade de elementos de fixação e, geralmente, resulta melhor com o sistema aderente. O uso de placas de grandes dimensões é, então, mais viável e económico. Esta técnica permite "*uma maior flexibilidade na adaptação aos suportes, uma vez que absorvem com mais facilidade as irregularidades e permitem, com recurso a diferentes tipos de fixação, uma melhor adequação às características mecânicas do suporte*" (APICER, 2003: 135). O sistema de fixação mecânica é constituído pelas peças cerâmicas, os dispositivos de fixação do revestimento à estrutura e as juntas, para além do suporte e eventuais camadas intermediárias.



▲ **Fig. 39** Diferentes tipos de dispositivos para ancoragens pontuais, visíveis ou ocultos, fixos nos lados horizontais ou verticais

Os mecanismos de fixação da fachada ao edifício podem ser de dois tipos: i) ancoragem pontual, diretamente no suporte, e ii) ancoragem contínua por intermédio de uma subestrutura, com perfis verticais, horizontais ou ambos.

i) As ancoragens pontuais [Fig.39] são fixas na estrutura através de perfurações, não dependendo de subestruturas auxiliares, o que torna o sistema geralmente menos dispendioso. Todavia, uma grande quantidade de fixações restringe a eficiência da solução e implica que o suporte tenha resistência mecânica para aplicá-los em praticamente toda a sua extensão. A fixação deste tipo de componentes pode ser mecânica ou de selagem, o que implica compatibilidade entre os materiais. Os fixadores podem ser aplicados com recurso a cavilhas de expansão ou selados com argamassas ou produtos químicos expansíveis.

ii) Na ancoragem contínua, ou linear, utilizam-se estruturas intermédias de perfis, geralmente em alumínio ou aço inoxidável. Estas são fixas diretamente no suporte ou deslizantes em cantoneiras reguláveis, que são cravadas nos suportes. A implantação da subestrutura é mais rápida do que a de ancoragens pontuais, embora mais dispendiosa. Esta solução apresenta 3 componentes variáveis: constituição da subestrutura, fixação da subestrutura ao suporte e fixação do revestimento à subestrutura.

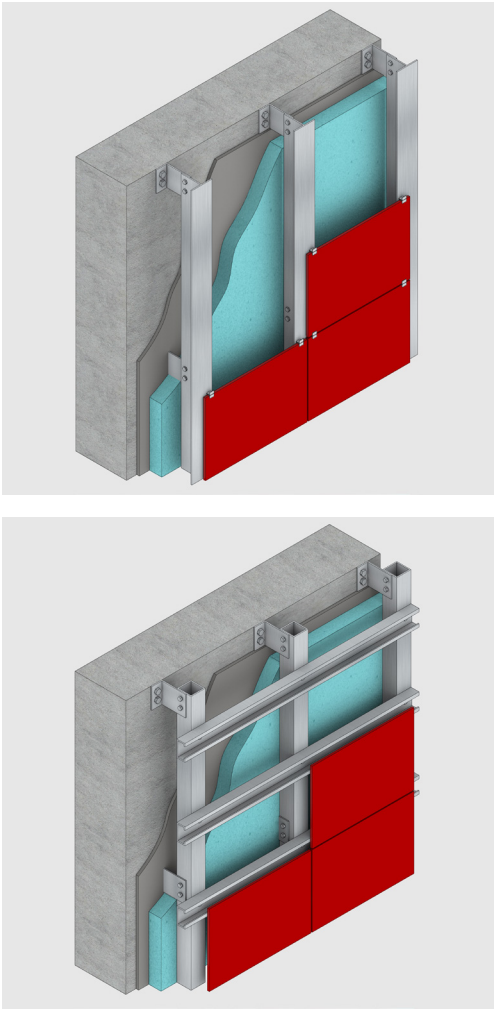
A subestrutura é composta por elementos metálicos paralelos entre si, aplicados na horizontal ou vertical (simples) ou sobrepostos nos dois sentidos (dupla) [Fig.40]. Nesta situação, os componentes que possuem maior resistência mecânica e que estão mais perto do suporte são designados de estrutura primária, enquanto os perpendiculares e sobrepostos são estrutura secundária. As subestruturas simples são adequadas a elementos de grandes dimensões faciais e as duplas para elementos mais reduzidos.

A fixação da subestrutura ao suporte pode ser realizada das seguintes formas:

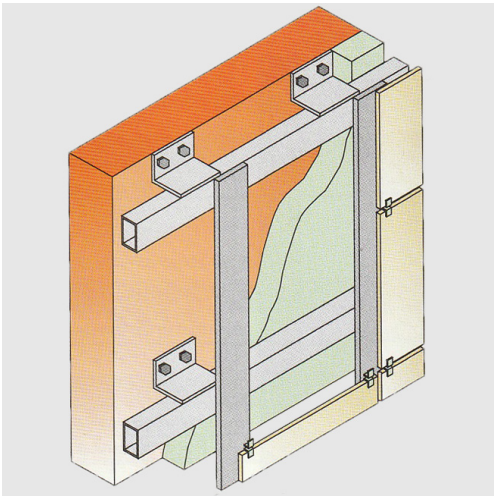
• Direta, quando está em permanente contacto com o suporte, o qual não deve apresentar irregularidades. Esta solução implica a interrupção do isolamento térmico. Caso se trate de uma subestrutura dupla, são os elementos verticais a assegurar a ligação ao suporte, de modo a que não obstruir ou dificultar o escorrimento de água ao longo do suporte e a livre circulação de ar no sentido ascendente.

• Indireta, quando o contacto é feito por mediação de espaçadores. A grande vantagem desta solução é a aplicação contínua do isolamento térmico e também permite que o suporte tenha irregularidades.

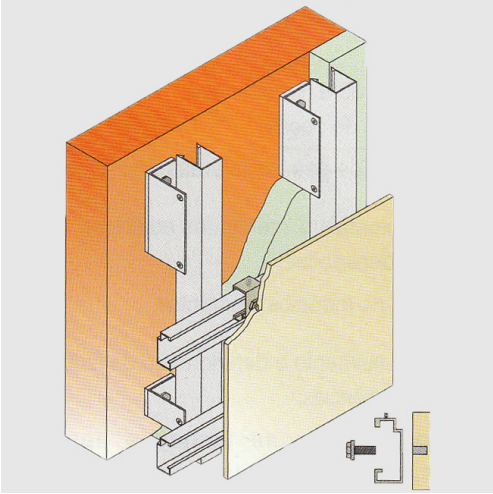
Relativamente ao acoplamento do revestimento à subestrutura, esta pode ter duas variantes, conforma a estética que se pretende: i) fixação visível e ii) fixação oculta.

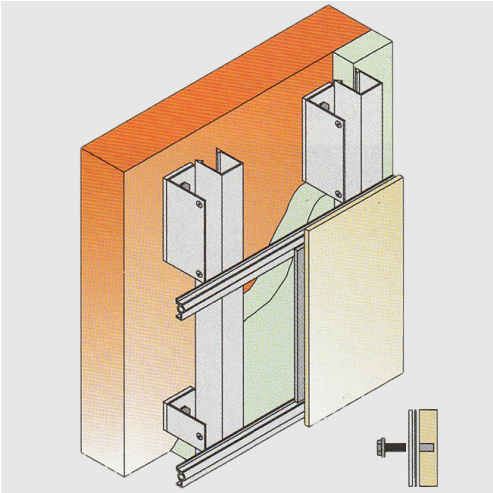


▲ **Fig. 40** Subestruturas metálicas: simples e dupla

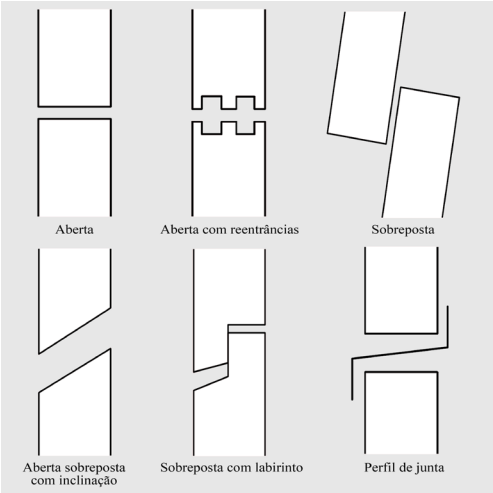


▲ **Fig. 41** Fixação mecânica com grampo visível





▲ **Fig. 42** Fixação mecânica invisível com parafuso e mista com reforço de cola



▲ **Fig. 43** Diferentes tipos de juntas

i) Na primeira, os dispositivos usados para prender as placas ficam expostos [Fig.41]. Estes podem ser parafusos, rebites ou agrafos, que perfuram totalmente a espessura do revestimento, ou presilhas ou grampos, que apenas seguram, evitando fazer cortes. Geralmente, são utilizados elementos de fixação metálicos lacados da mesma cor das placas, para minimizar o impacto visual. Esta solução caracteriza-se pela alta produtividade na montagem, versatilidade e flexibilidade, pelo facto das placas não precisarem de sofrer alterações, pela facilidade de encaixe e por dispensarem o uso de estruturas duplas.

ii) Na segunda, os dispositivos de fixação do revestimento não ficam visíveis do exterior [Fig.42]. O acoplamento é feito por grampos mecânicos ou parafusos, semelhantes aos usados na ancoragem pontual, implantados no tardoz da placa ou inseridos na espessura da mesma, quando esta é suficiente. Por sua vez, estes são fixos às calhas verticais e/ou horizontais da subestrutura. Esta solução, por ter o sistema de fixação escondido, tem a vantagem de gerar uma fachada mais limpa.

As juntas de um revestimento fixado mecanicamente são formadas por espaços que, deixados em aberto, separam as placas. As juntas estão sujeitas à força da água e do vento, por isso a sua posição em relação à direção da precipitação e da água de escoamento, que é determinada pela gravidade e vento, é um fator importante na sua conceção. Os espaços entre as placas permitem a circulação de ar e a drenagem da água acumulada. Segundo Herzog *et al.* (2004: 32), "*para além dos aspetos funcionais e técnicos, as juntas produzem um efeito global na fachada, demarcando os componentes individuais e conferindo ordem à geometria e à construção*". É possível distinguir 3 tipos de juntas, sendo que cada um apresenta diversas soluções, inclusivamente combinados entre si [Fig.43]: juntas abertas [18], juntas sobrepostas [19] e juntas com perfis [20].

O suporte é a base de sustentação de ambos os sistemas de fixação mencionados. "*A natureza do suporte é um elemento decisivo a considerar na escolha e execução dos substratos intermédios até à aplicação dos materiais*" (APICER, 2003: 183), para além de características como a resistência à rotura e a cargas, regularidade da superfície, resistência à água e compatibilidade dos materiais intervenientes. Relativamente às fachadas, o suporte pode ser constituído, por um lado, por betão armado ou painéis pré-fabricados em betão, e por outro, por rebocos à base de cimento sobre paredes de betão ou alvenaria de tijolo [Fig.44].

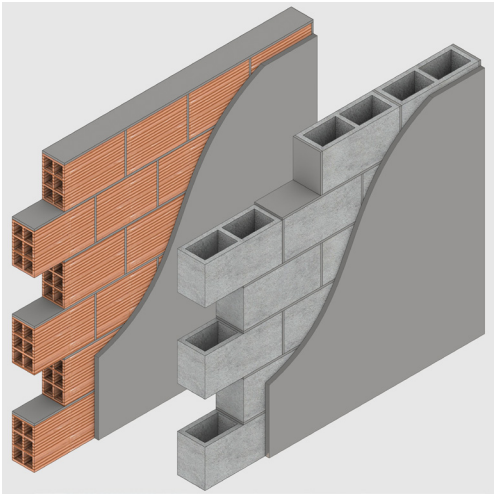
Os processos de revestimento devem garantir compatibilidade com os suportes, do ponto de vista mecânico, geométrico e químico. A compatibilidade mecânica diz respeito ao módulo de elasticidade e a resistência à tração do suporte e do revestimento. A geométrica está relacionada com a adequação da planeza e regularidade da superfície do suporte à técnica de colagem. A incompatibilidade química pode provocar a deterioração dos elementos construtivos.

Dependendo de vários fatores, sendo o mais decisivo a regularidade do suporte, pode ser necessária a introdução de camadas intermediárias que possibilitem uma aplicação precisa dos revestimentos cerâmicos. Sendo assim, são mencionados o chapisco, o emboço e reboco [Fig.45]. O chapisco é aplicado diretamente sobre o suporte, de forma a proporcionar maior aderência entre este e o revestimento, devido à sua porosidade. O emboço é aplicado para cobrir e regularizar o chapisco e tem o objetivo de definir o plano vertical e ainda contribui para a impermeabilização do conjunto. Caso esteja inserido num sistema de ETICS, o emboço é colocado após o isolamento térmico. O reboco pode ser a camada de regularização, substituindo as duas camadas descritas acima, sobre a qual assenta o material de colagem das peças.

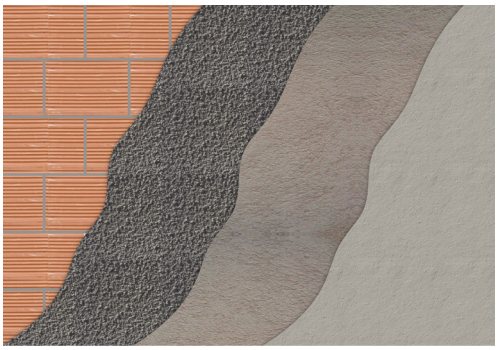
► **[18]** As juntas abertas têm um desempenho mais fraco na estanquidade da água, o que pode ser melhorado com um labirinto para dificultar o percurso da água. No caso de situações meteorológicas adversas com chuva e vento, a sua estanquidade continua a ser limitada.

► **[19]** A estanquidade das juntas sobrepostas é garantida pela criação de um obstáculo no percurso da água, que pode ser feito pelo desencontro dos bordos das placas ou pela utilização de encaixes que criam degraus, que dificultam o seu percurso.

► **[20]** As juntas podem ter um perfil que impeça ou dificulte a entrada de água e também sirva de suporte. É uma solução muito usada quando a fixação do revestimento à subestrutura é feita por um perfil contínuo.



▲ **Fig. 44** Suportes constituídos por alvenaria de tijolo e de betão, ambos com reboco à base de cimento



▲ **Fig. 45** Suporte com camadas intermediárias: chapisco, emboço e reboco



▲ **Fig. 46** Exemplos de fachadas com descolamento e fissuração do revestimento cerâmico

Os "*revestimentos cerâmicos aplicados no exterior estão sujeitos a maiores solicitações, quer climáticas, quer mecânicas*" (APICER, 2003: 198), o que favorece o aparecimento de anomalias, que afetam o seu desempenho ao nível estético, da segurança na utilização e do funcionamento. O sistema aderente é aquele que apresenta defeitos mais gravosos, ao contrário do sistema de fixação mecânica. Não obstante, em ambos, as patologias mais habituais são normalmente consequência de erros de conceção e execução ou de escolhas inadequadas de materiais e técnicas.

Os principais defeitos, dos quais se destacam o descolamento e a fissuração [Fig.46], dizem respeito ao sistema de revestimento no seu todo e não somente às placas cerâmicas. Estes apresentam-se resumidamente no quadro que se segue [Fig.47].

▼ **Fig. 47** Principais patologias encontradas nos sistemas de revestimento cerâmico - quadro adaptado de APICER (2003: 201)

PATOLOGIA	Sintomas	Causas mais prováveis
Descolamento	Perda de aderência ao suporte, com ou sem empolamento.	- Movimentos diferenciais suporte-sistema de revestimento. - Aderência insuficiente entre camadas do sistema de revestimento. - Falta de juntas elásticas no contorno. - Deficiências do suporte (deficiências de limpeza, planeza, porosidade).
Fissuração	Fissuras que atravessam toda a espessura das placas.	- Fendilhação do suporte, ou movimentos diferenciais suporte-revestimento que provocam tração nas placas. - Contração ou expansão do produto de assentamento dos ladrilhos. - Choque violento ou choque em ladrilhos mal assentes. - Rotura por flexão em ladrilhos mal assentes.
Desprendimento da placa	Desprendimento parcial ou total e possível queda da placa.	- Subdimensionamento das fixações face às solicitações previsíveis, como vento e peso próprio das placas. - Execução pouco cuidada da fachada.
Lascagem nos bordos	Fragmentação e possível quebra das placas nos bordos.	- Movimentos diferenciais suporte-sistema de revestimento, que resultam em compressão nos ladrilhos. - Montagem da fachada pouco cuidada.
Enodoamento prematuro	Manchas de produtos enodoantes na face útil.	- Seleção inadequada das placas, que não teve em conta a severidade do uso inerente ao espaço revestido; ladrilhos com classificação funcional insuficiente para o espaço revestido. - Abertura de poros na superfície; em consequência do desgaste, ou de ataque químico, que retêm a sujidade.
Desgaste prematuro	Zonas com riscagem ou desgaste profundo ou desaparecimento do vidrado.	- Desgaste por contacto.
Alteração de cor	Alteração localizada da cor inicial.	- Desgaste nas zonas de maior circulação. - Ataque químico.
Desprendimento do vidrado	Crateras rodeadas por fissuras concêntricas.	- Seleção inadequada das placas, que não teve em conta a severidade das ações de choque ou de gelo que se verificam em uso.
Deficiências de planeza		- Irregularidades de superfície do suporte que o produto de assentamento não pode disfarçar. - Não cumprimento das regras da qualidade sobre planeza geral ou localizada da superfície do sistema. - Empeno dos ladrilhos.
Eflorescências	Aparecimento de manchas brancas, que podem degradar precocemente a superfície.	- Dissolução dos sais constituintes do material ou das juntas e a sua posterior cristalização à superfície.

3.
TECNOLOGIAS DE DESENHO E FABRICAÇÃO DIGITAL EM ARQUITETURA

3. Tecnologias de desenho e fabricação digital em arquitetura

O desenvolvimento do computador após a Segunda Guerra Mundial abriu portas à passagem das tecnologias analógica e mecânica para a digital, com "*a substituição do poder do cérebro humano por máquinas de processamento de informação*", como afirma Mitchell *et al.* (1995: 3). Os avanços na área da eletrónica, que ocorreram inicialmente no âmbito militar, expandiram-se e democratizaram-se com o aparecimento do Computador Pessoal, na década de 80, e da Internet, na década de 90. Estes dois componentes introduziram na sociedade os meios necessários à circulação de dados e informação, favorecendo uma transformação digital em diversas áreas, como a arquitetura, de um modo rápido e irreversível.

Como aponta Branko Kolarevic (2003: 3), "*o potencial criativo e generativo das ferramentas digitais, juntamente com os avanços de fabricação já alcançados nas indústrias automóvel, aeroespacial e da construção naval, abre constantemente novas dimensões no projeto arquitetónico*". Efetivamente, nas últimas décadas, as tecnologias digitais têm interferido nos processos de projeto – desenho, análise e construção – através dos sistemas de CAD/CAM.

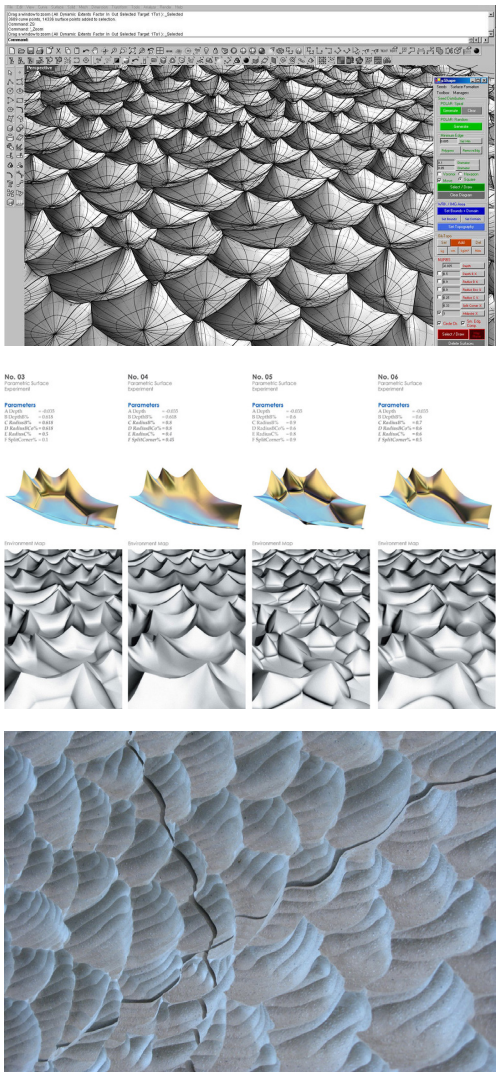
O CAD, sigla para Desenho Assistido por Computador, é uma tecnologia digital que auxilia na criação, modificação e otimização do desenho de objetos, permitindo a simulação e análise de materiais, processos, tolerâncias e dimensões. O CAM, abreviatura de Manufaturação Assistida por Computador, consiste na tecnologia digital focada na produção de objetos físicos, diretamente a partir do desenho e informação digital. Estes sistemas têm estabelecido um novo *continuum* digital, uma ligação direta do desenho à materialização, trazendo assim para primeiro plano as questões da aplicação, do controlo e da importância da informação na indústria construtiva, as quais Kolarevic (2003: 7) reforça, afirmando que "*a informação do desenho é a informação da construção*".

O projeto de arquitetura apoiado nestes sistemas desenvolve-se através de "*incursões cíclicas entre informação digital e a fabricação material, o que aproxima os arquitectos não só dos constrangimentos, mas também de estímulos e motivações eventualmente sugeridas pela realidade material*". Assim, o arquiteto tem a oportunidade de redefinir o seu papel na construção dos edifícios, retomando "*uma artesania que sempre caracterizou a profissão;* […] *uma ligação íntima e criativa aos actos de transformação das matérias primas e da construção*" (Sousa, 2005: 33-34).

A introdução de ferramentas digitais "*abriu novas oportunidades à realização de formas mais complexas que, até recentemente, eram dispendiosas e difíceis de desenhar, produzir e montar por meios de construção tradicionais*" (Kolarevic, 2003: 3), independentemente das limitações impostas pela indústria, que aposta substancialmente na uniformização.

Para além da exploração de novas formas, os arquitetos aprofundam as possibilidades de aplicar os materiais já existentes, o que tem como resultado a personalização até ao nível do detalhe arquitetónico. Como um breve exemplo, as obras de Herzog & de Meuron [Fig.48] manifestam a filosofia de que cada projeto tem de ser singular e, por esse motivo, recorrem às tecnologias digitais para a conceção dos seus projetos, em 2D, 3D e modelos físicos e algoritmos especificamente criados para responder às soluções pretendidas (Strehlke, 2009: 26).

O termo "*digital materiality*" [21] é usado por Gramazio e Kohler (2012: 104) para descrever a emergente transformação da expressão arquitetónica que interliga o mundo digital e o material numa nova realidade. Neste contexto, importa analisar quais as principais ferramentas de desenho e de fabricação digital que podem ser aplicadas ao revestimento cerâmico de fachadas.



▲ **Fig. 48** Recurso às tecnologias digitais na conceção dos painéis acústicos da Elbphilharmonie, Hamburgo - geração computacional das células dos painéis em Rhino, experiências ao nível da superfície com diferentes parâmetros e resultado físico

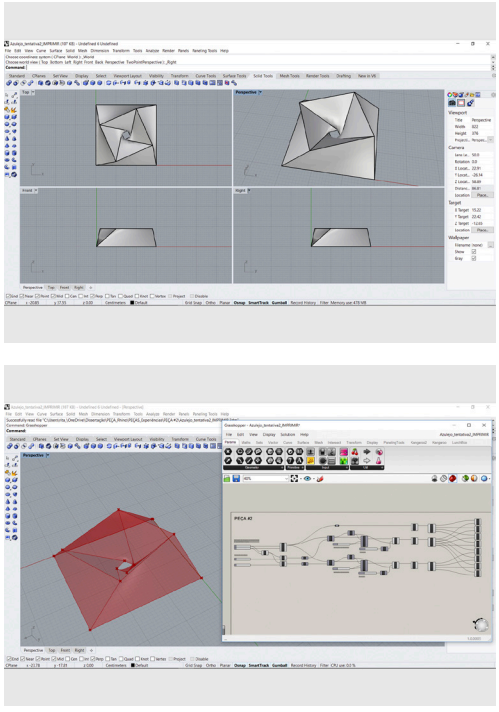
► **[21]** Materialidade digital.

3.1 Desenho digital

As tecnologias de CAD são definidas por Ibrahim Zeid (2009: 15) como "*ferramentas de desenho* [...] *potenciadas pelo* hardware *e* software *do computador, de modo a atingir a conversão do desenho de projeto em geometrias de forma eficiente e competitiva*". Zeid (2009: 14) acrescenta que o CAD é "*a interseção de 3 componentes: modelação geométrica, computação gráfica e instrumentos de* design*"*. Com isto, "*os arquitetos estão a afastar-se do desenho da forma específica de um edifício, para estabelecer relações e princípios geométricos descritos por meio de equações paramétricas, que originam um desenho particular como resposta a variáveis, expressões e condições específicas*" (Menges, 2010: 23). Assim, é necessário distinguir os tipos de tecnologias de desenho que mais contribuem para a arquitetura: o desenho paramétrico e o desenho explícito.

O desenho paramétrico, ou "*geometria associativa*" como designa Mark Burry (2003: 149), está presente em *softwares* como Rhino Grasshopper, CATIA e Revit Dynamo, enquanto o desenho explícito é usado no Autocad, Archicad e Rhinoceros [Fig.49]. Por oposição a este último, onde as ações são estáticas, o processo paramétrico pressupõe um conjunto de parâmetros e variáveis que gera e controla uma determinada geometria. A principal vantagem é a exploração em tempo real de variações de uma solução, através da alteração dos valores dos parâmetros, sem ser preciso recomeçar o desenho. "*O recurso a processos* [paramétricos] *permite associar propriedades físicas, mecânicas, estruturais ou de fabrico aos parâmetros de criação e controlo da forma*" (Sousa, 2005: 34), garantindo um rigor geométrico que, associado a questões estéticas e técnicas, possibilita a sua fabricação digital.

As tecnologias mencionadas não são específicas para a exploração da cerâmica, embora auxiliem na escolha das especificidades que o material deve ter através de simulações.



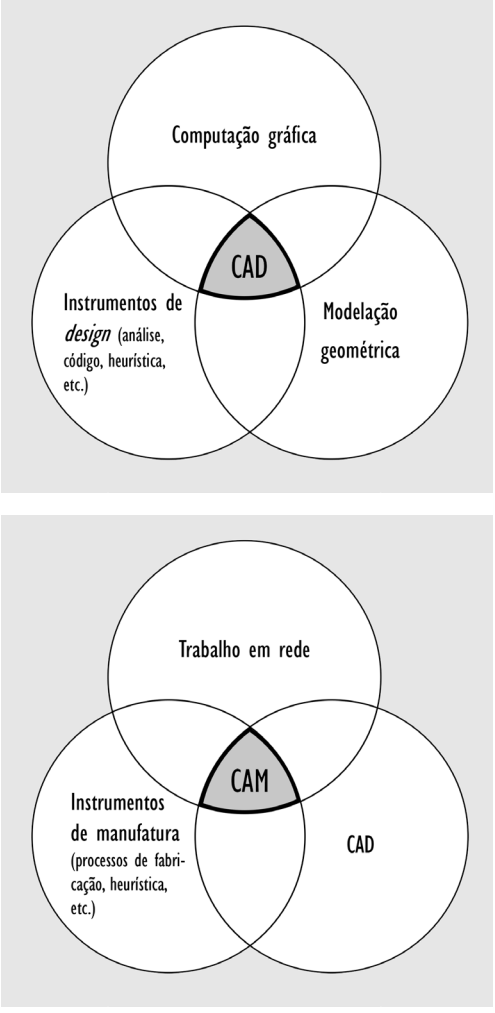
▲ **Fig. 49** Área de trabalho do Rhinoceros 3D e do Grasshopper, o *plug-in* de parametrização associado ao *software* mencionado

3.2 Fabricação digital

A tecnologia de CAM, segundo Kunwoo Lee (1999: 6), tem como princípio o "*uso do poder computacional para planear, gerir e controlar operações de fabricação mediante uma interface direta ou indireta com os recursos de produção da fábrica*". O seu objetivo é que, partindo de um conjunto de dados e de um modelo tridimensional criado em CAD, se otimize um percurso de fabricação adaptado ao tipo de maquinaria. Enquanto os processos CAD se direcionam para a correta definição geométrica do desenho de projeto, compete às tecnologias CAM a materialização da informação digital. Nas palavras de Zeid (2009: 5), *"o CAD é um subconjunto do processo de design, como o CAM é um subconjunto do processo de manufatura*" [Fig.50].

Para passar do desenho para a construção é necessário seguir as instruções fornecidas por modelos digitais, uma ação conseguida por máquinas de controlo numérico computadorizado (CNC) e, mais recentemente, robôs e impressoras 3D. De uma forma geral, as máquinas CNC permitem a fabricação através de processos de subtração e formação de matéria prima, enquanto a impressão 3D possibilita a fabricação por adição de material. Os robôs, dependendo da ferramenta que se integre na sua flange, podem fabricar mediante qualquer um dos processos descritos. Estas máquinas viabilizam a produção de formas personalizadas, de difícil concretização de modo tradicional.

A incorporação de tecnologias digitais no desenho e fabricação de componentes de construção em cerâmica encontra-se numa fase de investigação e desenvolvimento, manifestando-se sobretudo em projetos de cariz mais experimental. Alguns dos exemplos demonstrados nas páginas seguintes não estão diretamente ligados ao revestimento cerâmico em fachadas, em consequência da escassez de experiências dentro desta temática; contudo, são mencionados, devido às técnicas usadas poderem ser adaptadas ao tema do revestimento.



▲ **Fig. 50** Gráfico com os elementos que constituem as ferramentas CAD e CAM, de acordo com Zeid (2009: 15-16)

As tecnologias CAM podem incidir sobre 3 fases do processo de fabrico da cerâmica: preparação, conformação e pós-processamento. A preparação refere-se à intervenção nos instrumentos que conferem o formato determinado à peça, isto é, o molde, a matriz ou o protótipo, ou à orientação e colocação da matéria-prima. A conformação, como o nome indica, é a etapa na qual o componente ganha forma, seja por depósito de material, corte e desbaste por CNC ou manipulação e modelação robótica. O pós-processamento inclui a retificação de medidas e potenciais erros que surjam na fase anterior e os acabamentos e decorações pretendidos na superfície do componente.

A análise efetuada, que se resume no quadro seguinte [Fig.51], organiza-se segundo os modos de intervenção, as tecnologias de fabricação digital e os temas sobre os quais estas recaem. Cada tecnologia vem acompanhada de um exemplo de aplicação, que permite não só conhecer o que já se construiu, mas também o que está em investigação, para assim perceber as tendências que podem moldar o recurso à cerâmica em arquitetura.

▼ **Fig. 51** Quadro das tecnologias de fabricação digital aplicadas à cerâmica com exemplos de experiências e projetos realizados

INTERVENÇÃO		FABRICAÇÃO DIGITAL		TEMA	APLICAÇÃO	
Modo	Objeto	Processo	Tecnologia			Exemplos
INDIRETO	MATRIZ	SUBTRATIVO	Corte a laser	FORMA	Perfuração da matriz rígida para a máquina de extrusão	"CeramiSKIN: Penrose Screenwall" David Celento e Del Harrow
	NEGATIVO		Fresagem por CNC	FORMA	Fresagem do molde de suporte em poliestireno expandido	"Villa Nurbs" Enric Ruiz-Geli e Ceràmica Cumella
	POSITIVO				Fresagem do molde positivo em espuma	"CeramiSKIN: Lily Petal" David Celento e Del Harrow
		ADITIVO	Impressão 3D (P3DP)	FORMA	Impressão do molde positivo em pó cerâmico	"Light diffusing cones" Asterios Agkathidis e Rosa Gutierrez
	NEGATIVO	FORMATIVO	Manipulação robótica	FORMA	Posicionamento das cavilhas do molde de suporte	"Modular pin mold" MaP+S Group
DIRETO	COMPO-NENTE	SUBTRATIVO	Perfuração por CNC	TEXTURA	Perfuração de aberturas variáveis diretamente na pasta cerâmica	"Seamless Variation" Ludovic Mallegol
			Fio quente robotizado	FORMA	Corte preciso com a forma desejada	"Extruded Tessellation" MaP+S Group
			Fresagem robotizada	TEXTURA	Fresagem de material até obter a textura desejada	"Ohla Hotel Eixample" Dani Isern, Ceràmica Cumella e IAAC
		ADITIVO	Extrusão robótica de cerâmica (EAC)	TEXTURA	Adição de material até obter a textura desejada	"Seed Stitch Wall" Emerging Objects
				FORMA	Adição de material até obter a forma desejada	"Ceramic morphologies" MaP+S Group
		FORMATIVO	Deformação robótica	FORMA	Aplicação de pressão sobre o objeto com um carimbo	"Iterative Clay Formation" F.Amtsberg, F.Raspall, A. Trummer
			Deformação robótica	TEXTURA	Modelação da superfície do objeto com um rolo	"Robotic ripples" R.Kotelova, S.Cooke, B.Shin, P.Sprowls

De um modo geral, podemos distinguir a interferência direta e indireta dos processos de fabrico digital na produção de elementos cerâmicos. Por um lado, as tecnologias são aplicadas diretamente aos componentes e, por outro lado, aplicadas a outros elementos que, indiretamente, afetam a fabricação. Neste caso, é necessário distinguir a intervenção em matrizes, moldes negativos e moldes positivos. Enquanto a matriz está associada à extrusão, os moldes são usados para a prensagem plástica e colagem. Apesar da inovação tecnológica conseguida na produção dos moldes, parte das tarefas que envolvem este procedimento é ainda manual, nomeadamente no enchimento e vazamento dos mesmos. O molde pode também servir como suporte. O positivo, com o qual se produz o molde negativo, difere do protótipo na medida em que tem em consideração as alterações que a peça sofre durante a secagem e a cozedura.

Os temas que incidem sobre a fabricação digital correspondem a duas dimensões de materialidade: forma e textura. A forma refere-se à configuração física da peça cerâmica, e a textura à sensação tátil e visual da superfície da mesma. Em alguns exemplos da tabela, ambos os conceitos estão presentes no mesmo componente; todavia, só é referido aquele que mais se destaca.

Os processos de fabricação digital relevantes para a produção de componentes cerâmicos são organizados segundo a terminologia usada por Branko Kolarevic. Estes encontram-se divididos em 3 categorias:

- Fabricação subtrativa;
- Fabricação aditiva;
- Fabricação formativa;

Estas técnicas, ainda que associadas ao uso de maquinaria pesada, estão cada vez mais presentes em *ateliers* de arquitetura e projeto, pela possibilidade de costumização de peças para construção e de criação rápida de protótipos.

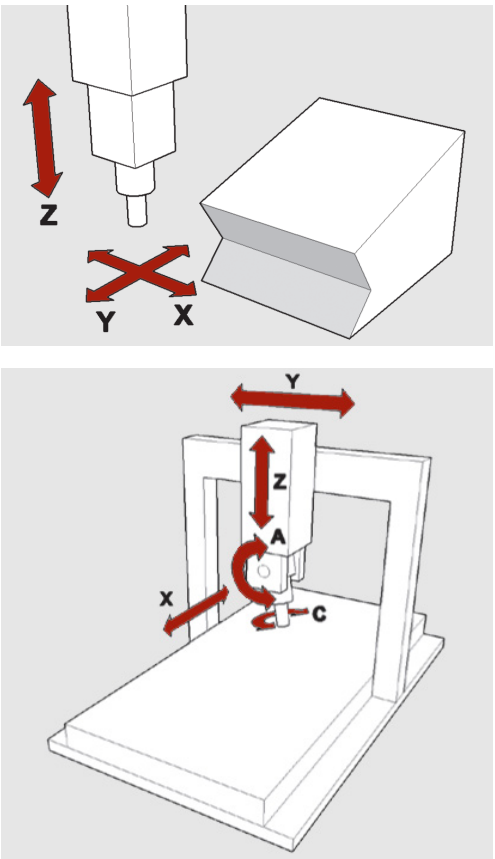
3.2.1 Fabricação subtrativa

Segundo a definição de Kolarevic (2003: 34) , "a *fabricação subtrativa consiste na remoção de um volume específico de material de sólidos, usando um processo elétrico, químico ou mecânico. A ação pode ser constrangida a um eixo, à superfície ou ao volume*".

A subtração de material de sólidos tridimensionais é uma extensão direta do corte bidimensional, à qual se acrescenta a possibilidade de elevar ou baixar a cabeça de corte e movê-la ao longo de um eixo vertical (*z*), para além dos horizontais (*x* e *y*). As máquinas de 3 eixos oferecem algumas limitações de formatos na produção das peças, nomeadamente na remoção de material internamente [Fig.52]. Para formas mais complexas, são usados engenhos de 4, 5 ou mais eixos, não só para cortar, como também para segurar o componente a produzir. Em alguns sistemas, o que se movimenta é a cabeça de corte, noutros é a base, podendo também ser uma combinação dos dois. O que diferencia estas tecnologias é o tipo de material a sofrer a remoção e o limite máximo de espessura que a máquina corta.

Os movimentos do corte, a velocidade de rotação, a troca de cabeças, entre outras operações da máquina, são controlados por programas de CNC, que geram um *tool path* [22], por outras palavras, uma sequência de códigos para a máquina executar. Os processos de subtração podem ser efetuados a diferentes velocidades de rotação e de avanço da ferramenta, dependendo da dureza do material, e apresentam uma grande variedade de tipos, formas e dimensões de cabeças de corte. Ferramentas mais largas permitem uma remoção mais grosseira de material, enquanto outras mais finas servem para o acabamento.

De forma a entender melhor este assunto, são apresentados seguidamente seis processos de fabricação subtrativa que, indireta e diretamente, contribuem para a produção cerâmica.



▲ **Fig. 52** Esquema de uma máquina CNC de 3 eixos, que não consegue remover material internamente, e de uma de 5 eixos

► **[22]** Caminho para a ferramenta.

Corte a laser

O corte a laser é um sistema que produz um feixe de luz de alta potência que, através de uma ótica, é direcionado com precisão ao objeto, removendo uma parte do material. Ao concentrar o raio de luz num único ponto, o calor adensa-se até ser suficientemente potente para derreter, queimar ou vaporizar o excedente.

Este processo está muito generalizado, sendo usado tanto em fabricação industrial, como em ambiente doméstico e educativo. Com as ferramentas de CAD/CAM, o sistema de corte automatizado permite retirar o material no desenho ou formato pretendido, mediante um sistema de mesa plana de 3 eixos ou robôs de 4, 5 ou 6 eixos para um corte tridimensional.

A principal vantagem do corte a laser é a ausência de contacto da ferramenta com o objeto, o que evita o desgaste da mesma. Assim, a ação do raio de luz é feita de uma certa distância, deixando a peça com um acabamento no bordo de alta qualidade. Por um lado, o processamento é rápido e preciso; por outro, o nível de consumo energético é consideravelmente alto.

O laser é muito recorrente no corte de madeiras, papel, alguns plásticos, tecidos e cerâmicos avançados de pouca grossura. Quanto aos metais, a sua espessura e composição podem ser impedimentos para o corte, caso o metal seja demasiado refletivo, como o alumínio, ouro e prata, o que não sucede com o aço. Sendo assim, este foi o processo selecionado por David Celento e Del Harrow (Celento *et al.*, 2008: 297) para cortar as matrizes de aço no projeto Penrose Screenwall [23]. Foram escolhidas 5 geometrias do padrão de Penrose para serem perfuradas a laser em matrizes rígidas [Fig.53] para a extrusão dos componentes cerâmicos, posteriormente cortados com diferentes comprimentos e ângulos. Estas geometrias, conjugadas de várias formas, possibilitam ilimitadas combinações.

► **[23]** Penrose Screenwall insere-se no projeto CeramiSkin, que visa a exploração digital de sistemas de revestimento cerâmico. A experiência recorre a 5 geometrias do padrão de Penrose que dão forma às peças extrudidas, com as quais é possível criar inúmeras combinações complexas e não repetitivas. As peças são empilhadas para construir paredes vazadas, que filtram a luz e permitem o sombreamento.



▲ **Fig. 53** Fabrico das peças de Penrose Screenwall - 5 matrizes rígidas diferentes; extrusão das peças; combinação das formas

Corte a jato de água

A máquina de jato de água é uma ferramenta industrial capaz de cortar diversos materiais com um esguicho de água a elevada pressão ou a combinação de água com alguma substância abrasiva. Este processo é o mais indicado para os materiais que são sensíveis a altas temperaturas geradas por outros meios. Justamente, um dos maiores benefícios do corte a jato de água é minimizar as zonas afetadas pelo calor, evitando prejudicar ou alterar as propriedades intrínsecas do objeto. Além disso, não é produzido fumo.

O avanço das tecnologias CAD/CAM permitiu a adaptação deste sistema, geralmente de 2 eixos, a robôs de 5 eixos para cortes mais complexos. As máquinas de CNC garantem uma grande precisão no corte e um controlo bem ajustado, permitindo até que as incisões sejam feitas muito próximas umas das outras.

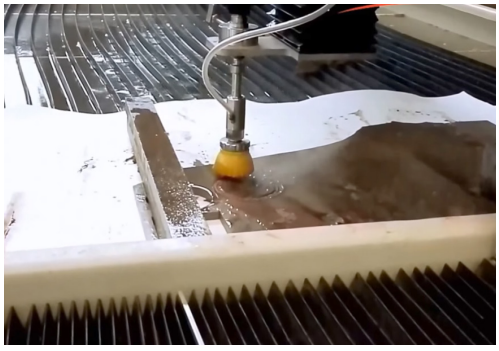
Este método pode ser usado para cortar qualquer material, desde a madeira até à cerâmica [Fig.54], dependendo da espessura da placa e do tipo e do tamanho da cabeça de corte usada.

Corte mecânico

O corte é um processo mecânico que remove material de um objeto através do contacto direto, por fresa ou lâmina. Por ser um método acessível, é bastante usado por escolas, pequenas empresas e amadores, para além das indústrias.

A máquina de corte por CNC permite executar de forma automatizada tarefas como serrar, furar ou laminar, em materiais de grande dureza como madeira, compósitos, alumínio, plásticos, vidros e cerâmicos. Tal como os sistemas anteriores, este pode ser adaptado a um robô multieixo, que viabiliza um maior número de ações.

Este sistema prima pela precisão, flexibilidade e facilidade de uso e pela capacidade de aumentar a produtividade industrial.

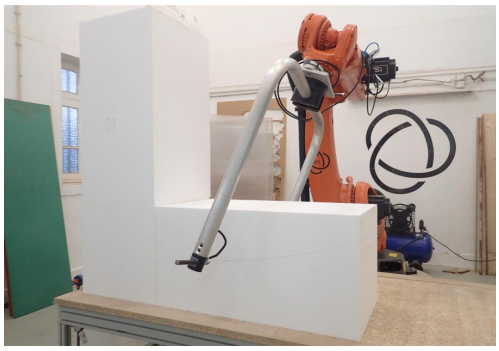


▲ **Fig. 54** Corte a jato de água de uma peça cerâmica

Corte a fio quente

Este sistema usa um fio controlado por computador aquecido para cortar certos materiais, replicando a geometria de um modelo CAD. É sobretudo usado para cortar espumas e poliestireno [Fig.55], mas também cerâmicos no estado plástico. Neste caso, não é necessário que o fio seja quente. O corte a fio possibilita a produção de formas geométricas complexas para a cofragem de betão e para os moldes ou protótipos de cerâmica. Porém, as formas são restritas a superfícies regradas, devido à retidão do fio usado.

Combinado com um processo de fabrico como a extrusão, este processo permite a redução de custos associados à implementação de tecnologias pré-existentes e a massificação de peças costumizadas. Foi destas duas vantagens que tirou partido o MaP+S Group, uma equipa de Harvard que investiga novos materiais e processos digitais, no seu projeto Extruded Tessellation [24]. A instalação é constituída por peças extrudidas com o mesmo perfil, de desenho complexo, as quais são cortadas com um fio acoplado a um braço robótico, com diferentes ângulos e comprimentos [Fig.56]. Como alternativa, os autores sugerem o corte mecânico com discos por CNC após a queima das peças extrudidas (Bechthold *et al*., 2016).

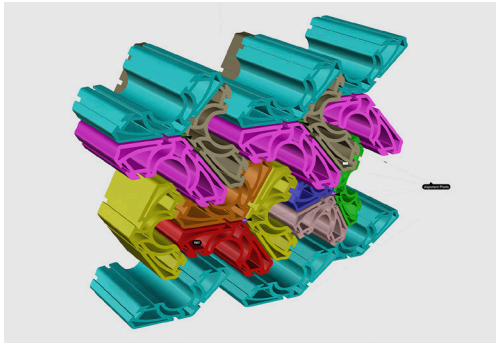


▲ **Fig. 55** Corte com fio quente acoplado a um braço robótico no DFL/FAUP

► **[24]** Extruded Tessellation explora uma estratégia de costumização da cerâmica, que consiste no corte automatizado de componentes extrudidos com o mesmo perfil de grande complexidade. Manipuladores robóticos com cortadores de fio foram integrados no sistema de produção para cortar as extremidades de modo personalizado à medida que a argila húmida ia sendo extrudida. Foram construídas 2 paredes para a exposição da CEVISAMA 2016, de 350 elementos cada, com 38 elementos únicos.

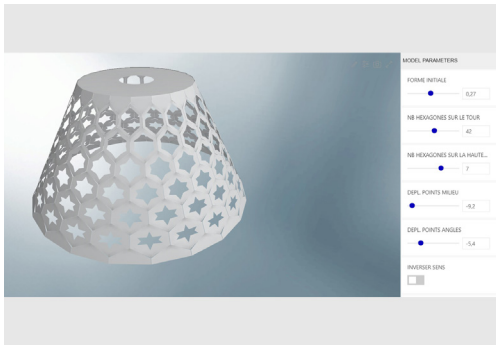
Perfuração

A perfuração é um processo mecânico automatizado que usa uma broca para fazer um furo em materiais sólidos. A broca é uma ferramenta rotativa que corta o material através do contacto direto sobre o mesmo. Inserida num sistema robótico multieixo, permite uma perfuração tridimensional, como explora Ludovic Mallegol no projeto Seamless Variation [25]. Este tem por base a criação de pequenas aberturas desenhadas com um programa de parametrização em peças de porcelana antes da segunda cozedura (Mallegol, 2018) [Fig.57].

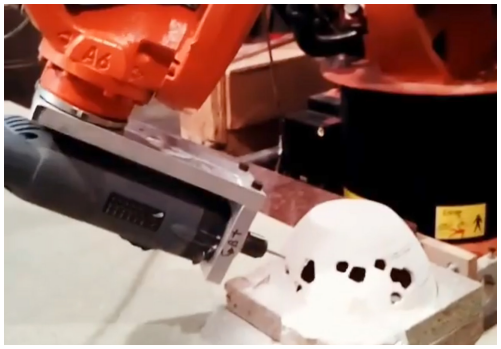




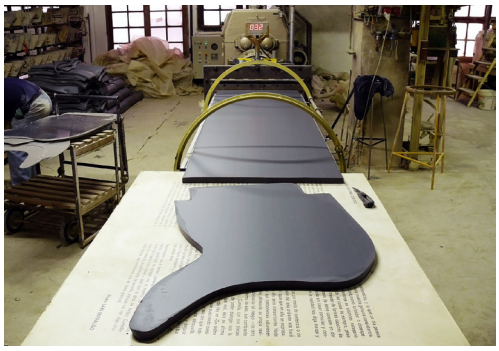
▲ **Fig. 56** Extruded Tessellation - constituição da parede; montagem dos elementos respeitando pontos de alinhamento; parede concluída



▲ **Fig. 57** Seamless Variation - programa de parametrização do padrão a perfurar na peça; perfuração da porcelana com um robô KUKA de 5 eixos



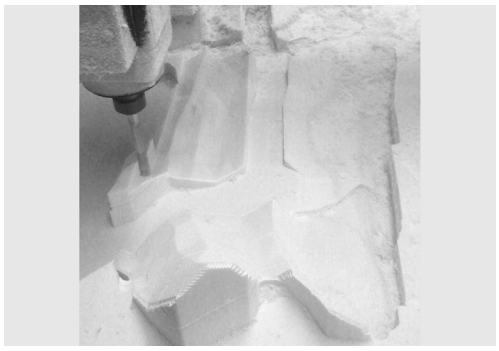
► **[25]** Seamless Variation é uma coleção de objetos em porcelana, em que a superfície é perfurada personalizadamente. Através do design paramétrico do programa Grasshopper, cada elemento é dependente do seu adjacente e a variação de um motivo dá origem à variação de todos os outros.



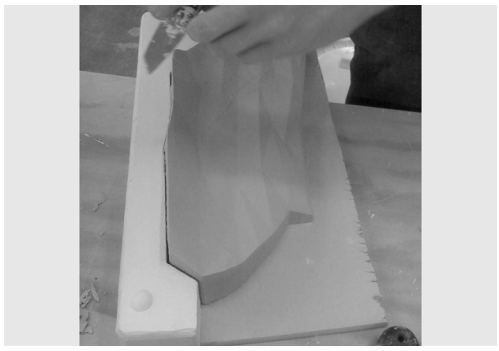
▲ **Fig. 58** Processo de fabrico do componente cerâmico da Villa Nurbs - extrusão da placa de argila e respetivo corte com uma matriz rígida; colocação da peça no molde de suporte em poliestireno expandido, previamente fresado por CNC



► **[26]** Villa Nurbs é uma casa construída em 2009, revestida com 406 peças de cerâmica, desenvolvidas em CAD. O desenho da pele consiste numa sequência de elementos torcidos que, em conjunto, funcionam como uma parede de folhas. Através do CAM, as informações do 3D passaram para uma fresadora digital que agiu sobre blocos maciços de EPS. O mesmo processo CAD/CAM foi usado para a peça de alumínio que corta a argila extrudida.



▲ **Fig. 59** CeramiSKIN: Lily Petal - fresagem por CNC dos moldes positivos num bloco maciço de poliestireno expandido; desmoldagem de uma das peças de porcelana do negativo em gesso e retificação dos detalhes



► **[27]** Lily Petal também se insere no projeto CeramiSkin. A experiência visa a digitalização a laser de uma forma complexa, uma pétala de lírio, aliada ao processo de colagem de barbotina. Foi criado um modelo digital com superfícies facetadas, o qual foi seccionado em Maya. Os *tool path* foram gerados no VisualMill para a fresagem dos moldes positivos.

Fresagem

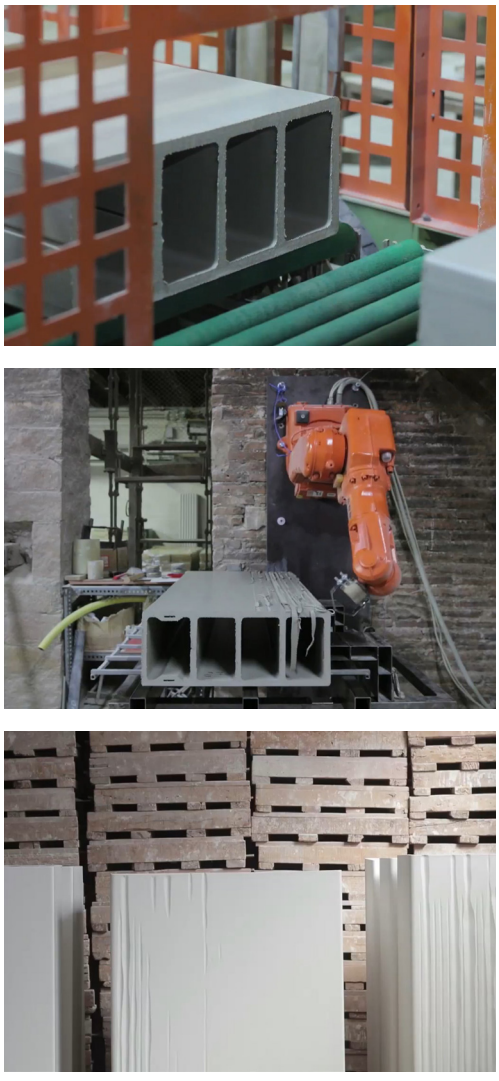
A fresagem é um processo mecânico que dá forma a uma peça através da remoção de material. A maquinaria, independentemente de ser operada por um programa de CNC ou manualmente, usa uma ferramenta cilíndrica que varia em tamanho e forma. O processo é em tudo semelhante ao do corte, mas o propósito é desbastar o material até se obter a forma ou a textura da superfície desejadas.

Através do CAM, é possível desenvolver diferentes estratégias para a produção de moldes para fabrico cerâmico, que evitam o recurso desnecessário a protótipos, mantendo um elevado grau de liberdade formal. No revestimento da Villa Nurbs [26], Enric Ruiz-Geli e a Ceràmica Cumella recorreram à fresagem por CNC para operar sobre um bloco de EPS, transformando-o no molde de suporte [Fig.58]. As peças extrudidas, depois de cortadas, deformaram com o próprio peso, adotando as formas curvas do molde tridimensional (Ruiz-Geli, 2010: 36).

Um caminho diferente tomaram Celento e Harrow no projeto Lily Petal [27], no qual experimentaram a fresagem por CNC sobre um molde positivo. A partir do modelo digital, foi gerado o caminho que a máquina de fresagem de 3 eixos fez sobre os moldes em espuma, que serviram para produzir os moldes negativos em gesso para o enchimento (Celento *et al*., 2008: 296) [Fig.59].

Um exemplo de intervenção direta é o Ohla Hotel Eixample [28], de Daniel Isern, em colaboração com a Cumella e o IAAC. A música é o cerne da conceção do projeto, a partir da qual foi inventado um algoritmo que transforma o som num padrão, que é gravado na superfície [Fig.60]. Ao optarem por um braço robótico de 6 eixos, puderam simular o movimento humano e experimentar diversas texturas, profundidades. Este processo permitiu criar um número infinito de peças, cada uma única e diferente, mas com o mesmo padrão (Isern, 2017).

► **[28]** O Ohla Hotel Eixample é um projeto de 2016 que se baseia no passado, na tradição, e lhe confere um toque inovador, através de dois temas: cerâmica e música. A fachada é composta por elementos verticais e horizontais, feitos por um processo industrial de extrusão e seguidamente fresados com um braço robótico. Foi escolhida a composição musical "Vivaldi Recomposed" de Max Richter, por ser uma interpretação moderna da música original.



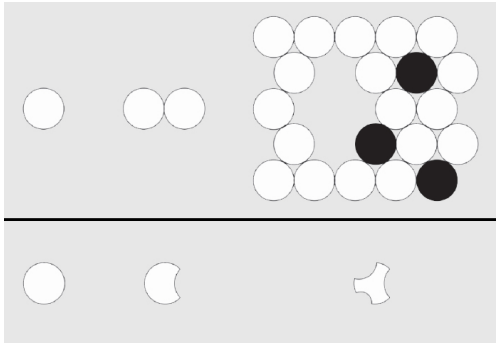
▲ **Fig. 60** Processo de fabrico dos componentes cerâmicos do Ohla Hotel Eixample - extrusão; fresagem robótica da peça; peças após vidragem

3.2.2 Fabricação aditiva

Kolarevic (2003: 36) considera que "*a fabricação aditiva implica o depósito de material por camadas, num processo inverso ao da subtrativa*" [Fig.61]. Embora tenha assumido diferentes designações ao longo dos últimos 30 anos, este processo é, hoje, popularmente conhecido como impressão 3D. Todas as tecnologias aditivas partilham o mesmo princípio de segmentação do modelo tridimensional em camadas bidimensionais, que tem por base um arquivo de formato STL gerado a partir de um modelo 3D. Segundo o mesmo autor, "*a informação de cada estrato é transferida para a cabeça da máquina e o produto físico é gerado por fatias até se completar o modelo*". A principal vantagem deste método em relação ao anterior é a colocação de material apenas onde é necessário, precavendo desta forma o desperdício, não só ecológico, como também económico.

Devido às reduzidas dimensões dos objetos produzidos e ao custo do equipamento, a fabricação aditiva tem uma aplicação ainda um pouco limitada ao nível do projeto de construção em grande escala. A fabricação de uma peça única pode levar várias horas. Contudo, quando a geometria é complexa, são mais rápidos que os outros processos. Independentemente do modo de intervenção ou do método de conformação associado, a fabricação aditiva adequa-se a formas com geometria complexa e/ou curvilínea, uma vez que usa praticamente o mesmo tempo, energia e recursos que uma mais simples, e oferece uma eficaz resposta ao interesse pela personalização individual de produtos. Em contrapartida, este processo geralmente limita a fabricação a um só material, principalmente em cerâmica, e não é garantido que este adquira as mesmas propriedades que um produzido pelos métodos tradicionais.

Para um entendimento mais preciso deste processo, são apresentadas de seguida as várias tecnologias de fabricação aditiva, que podem interferir, direta e indiretamente, na produção de componentes cerâmicos [Fig. 62].



▲ **Fig. 61** Esquema do processo aditivo em comparação com o subtrativo

Estado do material base	Tecnologias de Fabricação Aditiva
Líquido	- SLA (*Stereolithography*)
Pó	- SLS (*Selective Laser Sintering*) - P3DP (*Powder-based 3D Printing*)
Sólido	- FDM (*Fused Deposition Modeling*) - EAC (*Extrusion*) - CC (*Contour Crafting*)

▲ **Fig. 62** Tecnologias de fabricação aditiva baseada no estado do material base

EAC (*Extrusion based Additive Manufacturing of Ceramics*)

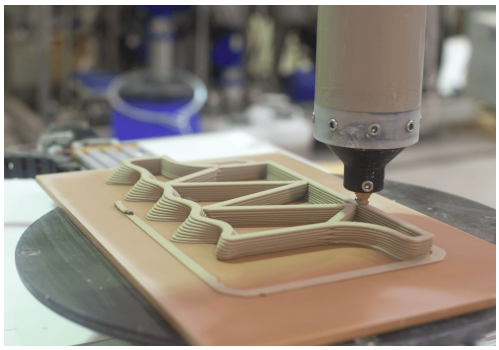
A fabricação aditiva baseada na extrusão de cerâmica é conhecida por diversos nomes, tais como DIW (*Direct Ink Writing*), *robocasting* ou LDM (*Liquid Deposition Modeling*), mas o seu funcionamento é praticamente idêntico. O sistema é caracterizado pela deposição, sob pressão constante, da pasta cerâmica através de uma cabeça de extrusão. A pasta extrudida mantém a sua forma imediatamente, diferindo do FDM por não depender da sua solidificação por arrefecimento. Esta tecnologia tem vindo a tornar-se mais flexível e adaptável às impressoras 3D já existentes no mercado. Alguns *designers* desenvolveram, modificaram ou costumizaram impressoras de secretária para depositar pastas cerâmicas. Por exemplo, Olivier van Herpt utiliza um robô delta personalizado [Fig.63] que lhe permite criar peças funcionais com maiores dimensões.

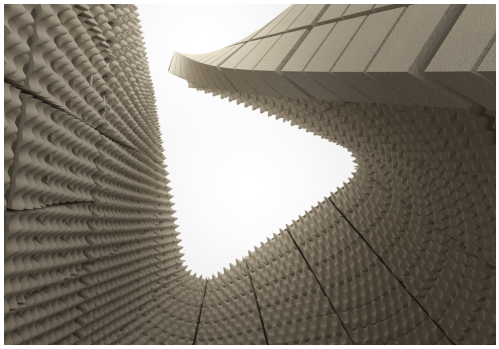
Segundo Bechthold *et al.* (2018: 351), apesar da fabricação aditiva responder à personalização de elementos arquitetónicos, apresenta ainda lacunas, como "*a falta de fluxos de trabalho computacionais integrados que combinam a modularização e as ferramentas do robô*". De forma a experimentar soluções para as lacunas encontradas, o mesmo autor e o seu grupo de Harvard projetaram um pavilhão inteiramente feito de cerâmicos impressos em 3D [Fig.64], inserido no projeto Ceramic Morphologies [29].

Enquanto a maioria das aplicações desta tecnologia demonstra como permite a diferença em massa, o Seed Stitch Wall [30] é um exercício de repetição, que explora a influência da mão, gravidade, temperatura e as tentativas da máquina imprimir uma forma instável para produzir diferença (Emerging Objects, 2016). Trabalhando diretamente com os códigos de controlo da impressora (*gcode*), em vez da geometria, é produzida uma série de desvios controlados que conferem novas expressões [Fig.65].



▲ **Fig. 63** Robô delta redesenhado para usar argila dura em vez de pasta aquosa; permite imprimir objetos mais altos e com maior grau de precisão





▲ **Fig. 64** Impressão por extrusão do componente; pavilhão revestido com os módulos, empilhados a seco e fixados mecanicamente a uma estrutura de aço

► **[29]** Ceramic Morphologies consiste na construção de um pavilhão para a CEVISAMA 2017. Com 3m de altura, o projeto apresenta 552 elementos únicos. A forma irregular da superfície permite otimizar as trocas de calor em espaços naturalmente ventilados. Os elementos foram impressos em 2 plataformas: um robô de 6 eixos e um 3D PotterBot de 3. Ambos os sistemas usam uma extrusora linear eletromecânica.

► **[30]** Seed Stitch Wall manipula o *gcode* para produzir superfícies texturadas como uma malha de tricô, em que os "pontos" enlaçados se assemelham a sementes espalhadas. Ocasionalmente, há um "ponto" solto que se afasta um pouco mais da superfície, tornando cada peça única. Noutra escala, as placas parecem soltar-se da parede por força do vento, fruto do *design* intencional e do atributo da impressora de se afastar na extremidade instável de cada peça.





▲ **Fig. 65** Impressão por extrusão do componente em fiadas simples intercaladas com ziguezagues; sistema de fachada revestida com as peças, que têm uma curva para se apoiarem na estrutura



▲ **Fig. 66** Impressão 3D de SLA; impressora Form 3, da FormLabs

SLA (*Stereolithography*)

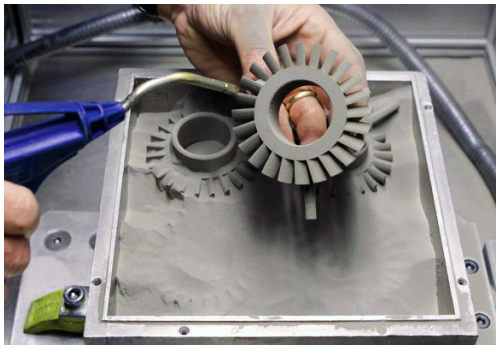
A estereolitografia é um sistema que se baseia na exposição de uma camada de resina líquida a um laser ultravioleta, causando a sua solidificação [Fig.66]. Este método converte o líquido fotossensível em sólidos tridimensionais por camadas, usando um laser de baixa potência e fotopolimerização. Quando a resina seca, a plataforma move-se na vertical e a resina líquida cobre por completo a que já solidificou. Caso uma das camadas não assente na anterior, a máquina cria uma estrutura de suporte para que o objeto seja produzido sem interrupções, o que requer algum trabalho de pós-produção para a sua remoção, através de solventes ou luz ultravioleta. A adaptação deste sistema à cerâmica permite a realização de peças complexas e de geometrias mais precisas com uma suspensão líquida de partículas cerâmicas combinadas com polímeros resinosos. Esta tecnologia é adequada ao fabrico de cerâmicos avançados e pode ser usada para a realização de moldes negativos e positivos para a cerâmica tradicional.

SLS (*Selective Laser Sintering*)

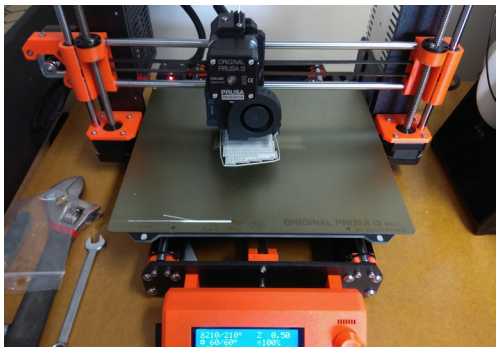
A sinterização seletiva a laser é uma tecnologia que usa um processo muito parecido ao da estereolitografia. Ao contrário da última, que recorre a resinas fotossensíveis, a SLS usa material em pó [Fig. 67]. Este sistema utiliza um laser de alta potência para fundir as partículas do material, abaixo do seu ponto de fusão, gerando uma camada fina de pó solidificado. O processo repete-se por camadas até ao objeto estar concluído. A peça fica a arrefecer na cama de pó até poder ser retirada. Este processo é amplamente empregue na prototipagem rápida e na produção de baixo volume de partes de componentes, em materiais como alumínio, prata, aço, *nylon*, vidro ou cerâmica. O seu maior inconveniente é o elevado custo do laser necessário para a sinterização.

FDM (*Fused Deposition Modeling*)

O FDM, também denominado de FFF (*Fused Filament Fabrication*), é o processo sólido de adição mais comum e aquele que mais facilmente é conseguido e usado por individuais. Este método consiste na fusão a quente de materiais poliméricos, como plásticos e *nylons*, em forma de filamento ou grão, até atingirem uma temperatura que os torne maleáveis. O material fundido é depositado através de um bocal de extrusão numa plataforma, segundo o desenho definido pelo modelo tridimensional, por camadas, até obter a forma desejada [Fig.68]. Tal como no SLA, pode ser necessária a criação de uma estrutura de suporte do mesmo material, mas com menos consistência, para ser mais fácil de separar da peça. O recurso a esta tecnologia é cada vez mais frequente, pela facilidade com que se desenvolvem e materializam protótipos e outros produtos, de modo relativamente rápido e económico, e com uma boa qualidade. A procura de peças costumizadas, por parte de arquitetos, *designers*, entre outros, faz com que se expandisse a aquisição de impressoras 3D de secretária, a um custo cada vez mais baixo.



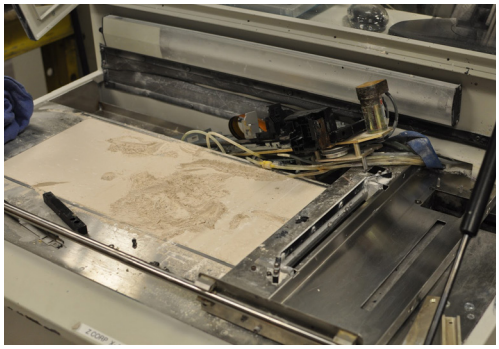
▲ **Fig. 67** Impressão por SLS em pó de *nylon*



▲ **Fig. 68** Impressão 3D em filamento PLA, em impressora PRUSA i3 MK3.

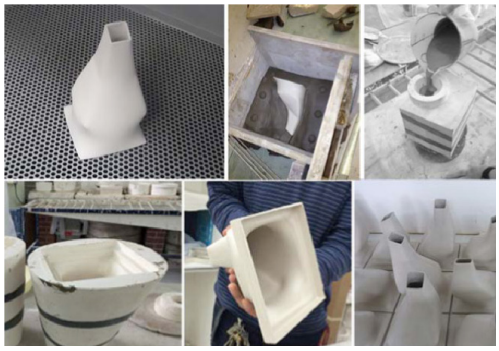
P3DP (*Powder-based 3D Printing*)

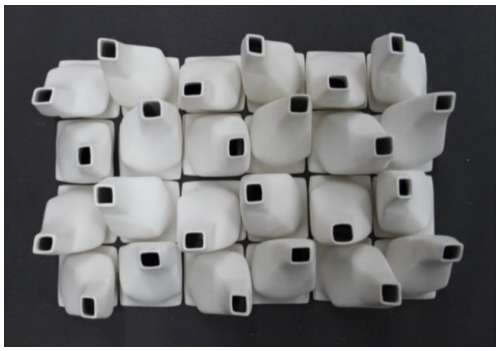
A impressão 3D em cama de pó, também denominada de *Binder Jetting* por usar um material aglutinante líquido, surgiu do desenvolvimento da impressão 2D a jato de tinta. Esta tecnologia aditiva, semelhante à sinterização seletiva a laser, que recorre a dois materiais para o fabrico do modelo: um pó, geralmente gesso ou cerâmico, e um agente aglutinador, que serve como uma cola que liga as várias camadas de material. A junção do pó com o líquido, camada a camada, forma um componente sólido. Após a impressão, a peça continua no pó até ganhar força. É posteriormente removida e o excesso de partículas é limpo através de ar pressurizado [Fig.69].



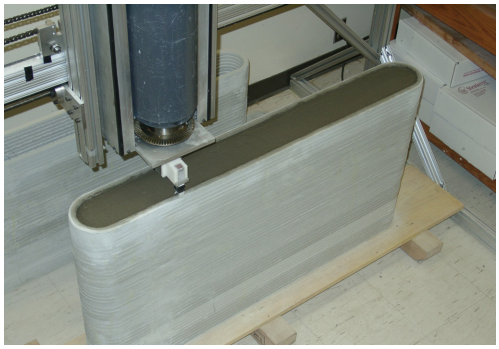
▲ **Fig. 69** Impressão em pó cerâmico numa máquina Zcorp 402C

► **[31]** Light Diffusing Cones é uma experiência de parametrização, em Grasshopper, que explora o redi-reccionamento das emissões de luz através de um cone distorcido. Quando o desempenho de difu-são de luz foi alcançado, o modelo 3D foi exportado para STL, a partir do qual foi impresso para a produção do molde negativo. Após a secagem, o objeto finalizado foi removido e o molde pôde ser usado novamente.





▲ **Fig. 70** Processo de fabrico dos cones: molde positivo em pó cerâmico; preparação do molde em gesso; colagem de barbotina; produtos vidrados



▲ **Fig. 71** Parede construída em betão por CC

O desenho de peças para esta tecnologia implica a "*consideração de parâmetros como a espessura mínima e máxima da parede da peça, dimensões e volume de construção*" (Bechthold *et al*., 2015: 202). As grandes vantagens do sistema são a reutilização do material remanescente e a possibilidade de criar um modelo com cor, acrescentando pigmentos ao agente aglutinador. Este processo permite a realização de protótipos em pó cerâmico, que, apesar de não terem as mesmas propriedades da cerâmica tradicional, são instrumentos úteis para estudos prévios. Asterios Agkathidis e Rosa Gutiérrez, no projeto Light Diffusing Cones [31], recorrem a este método para a criação de moldes positivos dos cones de luz [Fig.70], a partir dos quais se fizeram os negativos em gesso para a colagem de barbotina (Agkathidis *et al*., 2016: 7).

CC (*Contour Crafting*)

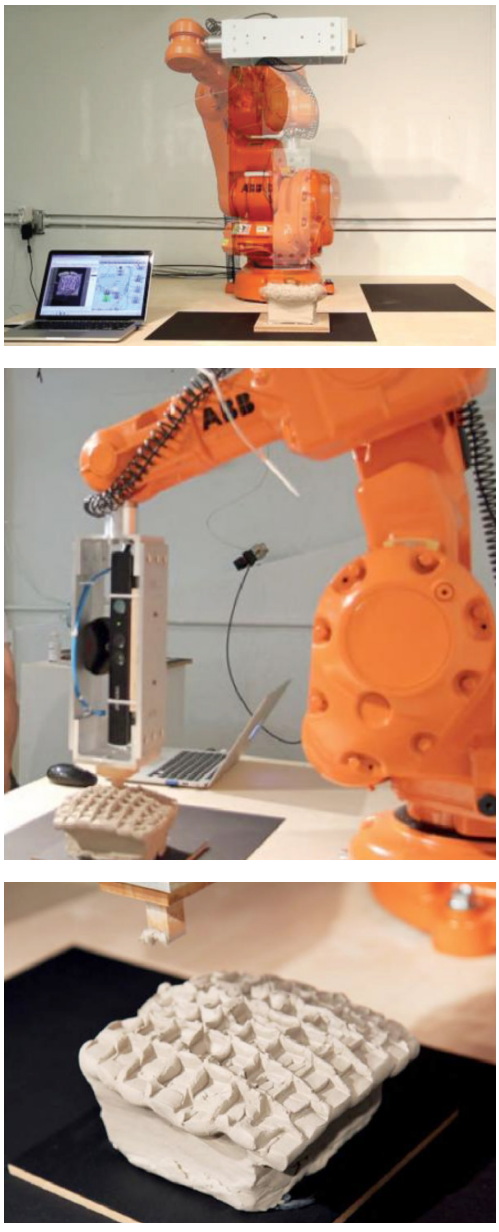
Dado o tamanho limitado dos objetos criados, o custo do equipamento e o elevado tempo de produção, a fabricação aditiva tem uma aplicação reduzida na indústria cerâmica. Recentemente, foi criada por Behrokh Khoshnevis uma tecnologia de construção por contornos, que permite a fabricação de edifícios com um pórtico controlado por computador. Este método combina extrusão, para formar o contorno do objeto, com um processo de enchimento, para construir o núcleo. "*Como o depósito de material é controlado, quantidades rigorosas de materiais são adicionadas com precisão nos locais pretendidos e outros elementos como sensores ou aquecedores de piso e parede podem ser incorporados na estrutura de forma totalmente automatizada*" (Kolarevic, 2003: 37). Este sistema permite a fabricação de objetos arquitetónicos, em diversos materiais como plásticos, cimento, cerâmicos e betão [Fig.71], com a adição de componentes de reforço para melhorar as propriedades mecânicas (Khoshnevis, 2006: 302).

3.2.3 Fabricação formativa

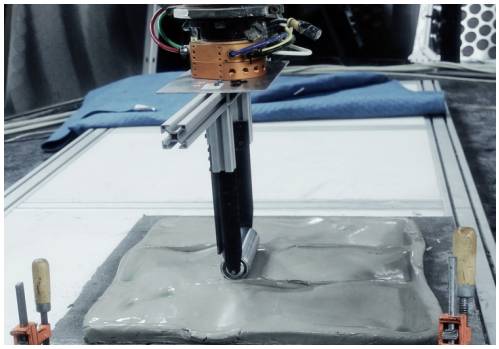
A fabricação formativa de componentes cerâmicos não envolve subtração nem adição de material. Ao invés, são aplicadas forças mecânicas ao material maleável, para lhe conferir uma determinada forma. As práticas mencionadas neste capítulo, deformação e manipulação, não se referem a termos técnicos, mas à ação que a máquina tem sobre o objeto a ser transformado. A fabricação automatizada com recurso a um robô tem sido explorada como um meio fundamental para diretamente moldar os elementos cerâmicos, seja em linha com os processos existentes ou como um método independente. Neste sistema, a pasta cerâmica é fornecida à célula robótica e, mediante o controlo automatizado das ferramentas, é moldada para obter a forma ou o efeito de superfície desejados.

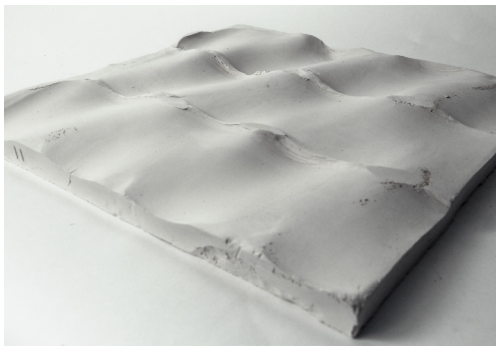
Como afirma Bechthold *et al.* (2015: 204), "*embora estas operações sejam computacionais, explorações iniciais deste conceito demonstraram que a peça adquire a forma final através da combinação do comportamento da argila com a ação da ferramenta automatizada*". Estes dois fatores, que se baseiam num princípio de ação e reação, fazem com que o resultado formal da peça seja imprevisível com o recurso a uma única instrução de fabricação. O projeto Iterative Clay Formation [32], desenvolvido por Raspall, Amtsberg e Trummer, implementa um sistema de *feedback* em tempo real, no qual os processos de desenho e fabricação são determinados em função da informação do material, de forma a garantir que se obtém a geometria pretendida. O procedimento envolve a repetida deformação de um bloco de argila com um carimbo [Fig.72], intercalada com a digitalização tridimensional do mesmo. O sistema efetua a medição do desvio entre a superfície efetiva e a desejada e escolhe uma estratégia de movimento do carimbo. Há novamente uma digitalização, é recalculado o movimento e o processo repete-se até se alcançar um resultado preciso (Raspall *et al.*, 2015: 638).

► **[32]** Iterative Clay Formation insere-se num projeto que visa a introdução da resposta do material em tempo real, através da visão do computador, no desenho e fabricação digital. A experiência permite um processo de produção automatizado via um ciclo de resposta (*feedback loop*), que ajusta a fabricação com base na reação do material ao processo de deformação. O caminho da ferramenta nunca está disponível, mas em atualização constante.

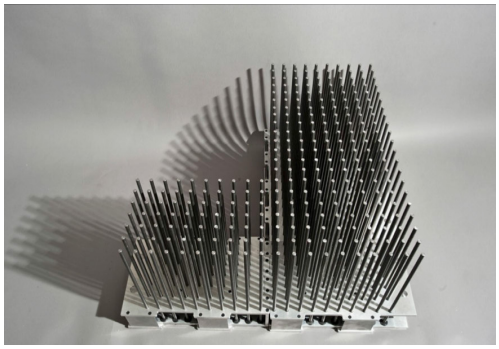


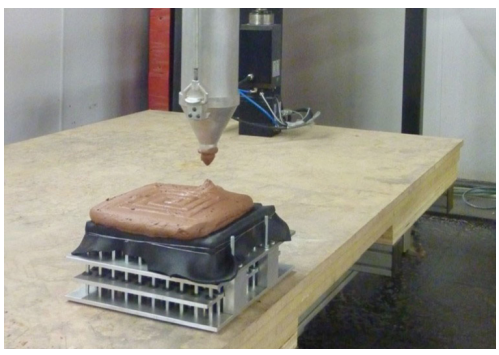
▲ **Fig. 72** Movimento realizado pelo robô para o *scanning*; digitalizador inserido na ferramenta; deformação do bloco de argila com o carimbo





▲ **Fig. 73** Deformação da placa com um rolo a formar 3 tiras na mesma direção com a pasta húmida; superfície texturada resultante





▲ **Fig. 74** Molde modular de pinos; extrusão robótica de cerâmica sobre o molde, previamente protegido com uma membrana

De uma forma geral, "*o desejo é reduzir a variabilidade do material e ir ao encontro da precisão, mas, à luz das tendências atuais da indústria cerâmica, provavelmente veremos uma inclusão dos efeitos dos materiais e a utilização de ferramentas automatizadas para fornecer produtos artesanais que possam ser produzidos em massa*", expressa Bechthold *et al.* (2015: 204). Com isto em mente, um grupo de estudantes de Harvard GSD desenvolveu um protótipo de um sistema de revestimento cerâmico para fachadas, que combina técnicas tradicionais de laminagem com rolo com fabricação robótica à escala industrial, à qual denominaram Robotic Ripples. Foi acoplado a um braço robótico ABB uma ferramenta costumizada, que consiste num eixo de um rolo transportador conectado a uma estrutura metálica; esta permite variações no comprimento e largura do rolo, para diferentes desenhos. As placas de revestimento, ainda no estado plástico, para ter maleabilidade, têm as superfícies deformadas com este rolo. Assim, é possível criar uma infinidade de texturas sem recorrer a moldes ou materiais de suporte, que seriam desperdiçados (Kotelova *et al.*, 2013).

A fabricação formativa também pode ser aplicada na conformação de moldes auxiliares à produção cerâmica. A nível industrial, geralmente são usados moldes de gesso, para o enchimento, ou de espuma, para suporte. Em vez de depender de moldes de geometria fixa, o MaP+S Group desenhou e fabricou um molde ajustável e de baixo custo, a partir de uma malha de pinos metálicos colocados em plataformas perfuradas. O molde pode ser automaticamente reconfigurado em alguns minutos por um manípulo robótico, podendo cada um dos elementos assumir uma posição única. Os movimentos que as cavilhas podem fazer são bloqueados por ação de uma plataforma e a superfície é coberta por uma membrana flexível que tapa as aberturas. Este suporte é necessário para o assentamento da cerâmica após ser impressa em EAC (Bechthold, 2016: 93-94).

4.
CASOS DE ESTUDO

4. Casos de estudo

O projeto de arquitetura vive do conjunto de relações entre os elementos e o todo, entre diferentes escalas, entre a dimensão humana e da cidade, pelo que no meu entendimento não se pode dissociar o material de revestimento da superfície que envolve. Tendo isto em mente, o presente capítulo apresenta três exemplos da arquitetura contemporânea nacional, onde o desenho das peças cerâmicas é um fator que acrescenta valor ao carácter da obra. Por outras palavras, são exemplos do entendimento de revestimento como extensão do desenho de projeto.

Os casos de estudo selecionados são os seguintes:

- Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões
- Extensão do Oceanário de Lisboa
- Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia de Lisboa

A análise das obras parte de um enquadramento geral do projeto, referente ao programa, integração urbana e volumetria, passando pela fachada, sistema de revestimento e relação módulo-padrão, chegando até ao desenho, fabrico e acabamento da peça cerâmica.

Neste capítulo pretende-se, por um lado, perceber os desafios e constrangimentos encontrados nesta relação material-projeto e, por outro, compreender o papel das tecnologias digitais nos projetos, mesmo que limitado.

De forma a obter mais informação e detalhes sobre a utilização da cerâmica nos projetos arquitetónicos e, assim, colmatar algumas lacunas existentes na bibliografia consultada, realizaram-se entrevistas aos arquitetos Luís Pedro Silva, do Terminal de Cruzeiros, e Pedro Campos Costa, da Extensão do Oceanário.

Por falta de disponibilidade, não foi possível realizar uma entrevista com o Arquiteto Maximiliano Arrocet, do Atelier AL_A. No entanto, foi facultado um documento, com informação catalogada relativa à fachada do MAAT, que se mostrou uma peça indispensável para a elaboração do capítulo respetivo.



4.1 Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões

O projeto para o Terminal de Cruzeiros, da autoria do arquiteto Luís Pedro Silva, nasceu por iniciativa da APDL, com a sua inclusão no Plano Estratégico de Desenvolvimento de 2004. A construção do edifício teve início em 2010 e a inauguração em 2015. Segundo o arquiteto (2008: 2), a intervenção teve um "*duplo objectivo de melhorar a eficácia comercial* […] *e o de integração urbana*", que se refletiu programaticamente num novo cais de navios e uma doca de recreio, além do edifício de receção dos passageiros. A sua forma enquadra-se com a curva do molhe, prolongando-se em 3 braços que enlaçam o edifício e a envolvente. No interior, o quarto braço gera uma rampa helicoidal, que ocupa 4 pisos e faz a ligação entre eles.

A forma tridimensional curvilínea [Fig.75] provoca diferentes efeitos de perspetivas, variando ao longo do dia e com as estações do ano. Visto da praia, a timidez do volume contrasta com a perceção que se tem a partir do Porto de Leixões, pois fica parcialmente oculto pelo molhe e a sua fachada é cega, não evidenciando qualquer abertura. Nas palavras do arquiteto, de longe "*o edifício lê-se pela sua volumetria e pelo branco ondulante com fantasiosas nuances e diálogo com a variação da luz e da atmosfera*" (Silva, 2016c) e, ao perto, são revelados detalhes e texturas que apelam à proximidade [Fig.76].

Em conversa pessoal com o arquiteto, a problemática da relação do corpo com o edifício foi dominante, no que concerne ao tema do revestimento. O arquiteto afirmou que "*a arquitetura consubstancia-se nesta relação muito empírica*" e, por essa razão, foi um fator que moveu o projeto desde a escolha final do material (Silva, 2018). Foi consciente a implementação da medida humana, aproximadamente um palmo, no módulo de revestimento cerâmico. Procurou-se, assim, criar uma ligação empática com o público e um diálogo que é comunicado através das mãos.

◄ **Fig. 75** Volumetria curvilínea do Terminal de Cruzeiros





▲ **Fig. 76** Contraste entre a leitura de longe (a partir da praia) e de perto do Terminal

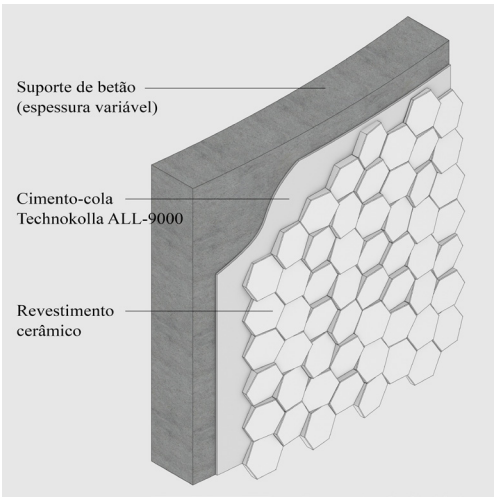
Fachada

A localização da obra num ambiente marítimo, a cerca de 800m da costa, condicionou a escolha do material de revestimento. Foi preciso ter em consideração a ação do vento e do mar, a variação do nível de água e os pós da refinaria.

Foram ponderados materiais como "*aço inox polido, cobre, madeira autoclavada, zinco, titânio, vidro, betão branco e ETICS*", dos quais o betão branco foi o eleito no meio de dúvidas e indecisões. Todavia, perante a peculiar geometria da fachada e "*a estereotomia e modularidade pretendidas*", as empresas construtoras não precisaram um valor para o orçamento e esta inconstância levou à procura de outra solução (Silva, 2016a: 24). A pesquisa por soluções de revestimento em edifícios em situação marítima levou o arquiteto até à Ópera de Sydney, fazendo desta a obra de referência para a escolha da cerâmica (Silva, 2018).

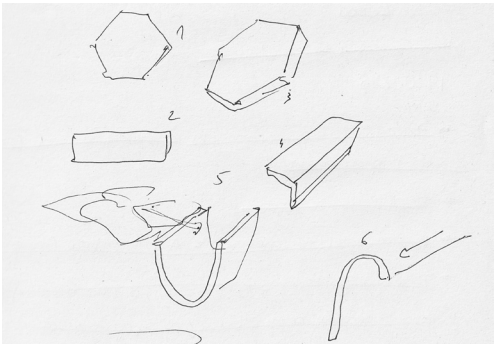
O sistema de revestimento aderente da obra [Fig.77] é composto pelo suporte de betão armado, impermeabilização, produto de colagem e peças cerâmicas [33]. Geralmente é usado um material para o preenchimento de juntas, o que não acontece neste caso, em que se recorre a uma junta aberta. O isolamento térmico é feito pelo interior, onde em determinadas zonas também é aplicada cerâmica.

As peças cerâmicas preenchem uma superfície de cerca de 16.000 m^2, exterior e interior, somando um total de 900.000 elementos, em 6 formatos diferentes [Fig.78]. A aplicação do revestimento foi realizada por cerca de 20 pessoas, numa média diária de 5m^2 por pessoa. Esta revelou-se bastante exigente, em consequência das "*condições de temperatura e o tempo de aplicação, a forma sextavada do cerâmico, a inclinação e irregularidade das lâminas com curvatura côncava e convexa ou a sua dupla curvatura, a estereotomia a cumprir e a transição para as peças especiais ou a calibragem das juntas*" (Silva, 2016b: 114).



▲ **Fig. 77** Sistema de revestimento aderente da fachada do Terminal

► **[33]** Por uma questão de coerência com as definições previamente apresentadas, não são usados os termos "azulejo" e "ladrilho", uma vez que os elementos do exemplo são tridimensionais e, por isso, a sua estrutura é oca e a zona de contacto com o suporte corresponde somente ao contorno da peça. Desta forma, são usados os termos "peça cerâmica" e "componente cerâmico". A mesma designação é usada para os dois restantes casos de estudo.



▲ **Fig. 78** Esquiços realizados pelo Arquiteto Luís Pedro Silva com os 6 diferentes formatos das peças: 1- módulo hexagonal plano; 2- peça retangular de compensação; 3- módulo tridimensional; 4- peça de ângulo com abas desiguais; 5- caleira; 6- caleira invertida para impedir a entrada de água

Aspetos como a natureza do suporte, o método de aplicação e a cola, favoreceram o descaimento das peças, desviando-se do seu local predefinido, sendo necessária uma marcação [Fig.79]. O difícil acesso e o impedimento de aplicar as peças em vários locais em simultâneo, posto que estas poderiam não coincidir, foram complicações adicionais.

O material utilizado para a colocação do revestimento é um cimento-cola com resinas poliuretânicas, que funciona como agente de regularização, de impermeabilização e de colagem. Em primeiro lugar, foi espalhada uma camada de cola (4 a 5mm) para nivelar, com uma espátula entalhada; depois, uma camada contínua e uniforme da mesma cola (2mm) na superfície, com uma espátula lisa; por último, foi também aplicada cola no tardoz das peças, com uma pequena espátula [Fig.80]. Este procedimento foi necessário dada a escassa área da base de assentamento. As peças foram coladas com a pressão devida, distanciadas umas das outras em 2 ou 3mm, aproximadamente. O excesso de cola nos bordos ou na superfície foi retirada com álcool etílico com o cimento-cola ainda fresco (Sika, 2017).

A forma escolhida para a peça cerâmica adveio da ideia de criar um padrão ajustável à geometria irregular das paredes do edifício. Um dos receios do arquiteto era que uma forma exata, como um quadrado, não se enquadrasse com a fachada curva, o que o levou a optar por uma com mais faces. Partindo da subdivisão das superfícies complexas em triangulações, chegou-se à forma do hexágono, que é, segundo o arquiteto, um "*polígono recorrente, vivo e cheio de personalidade*". Este acrescenta que "*sem muitas arestas não se confunde com o poderoso círculo, como o octógono, que desperdiça superfícies quadradas. E é também mais disponível do que o quadrado*" (Silva, 2016a: 24). Para criar tridimensionalidade e jogos lumínicos, a superfície foi elevada diagonalmente, resultando num prisma irregular.



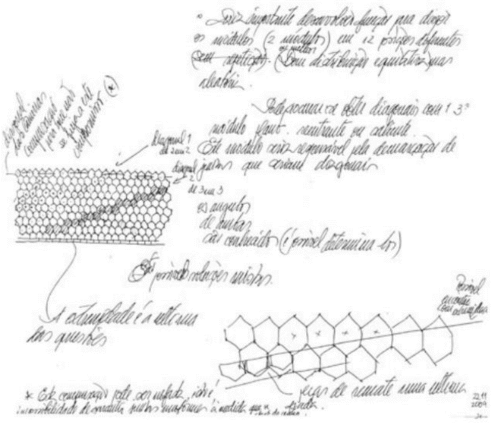
▲ **Fig. 79** Marcação a caneta da localização da face com menor altura





▲ **Fig. 80** Utilização de espaçadores para garantir o afastamento entre as peças e impedir o descaimento das mesmas; inexistência de material de preenchimento de juntas

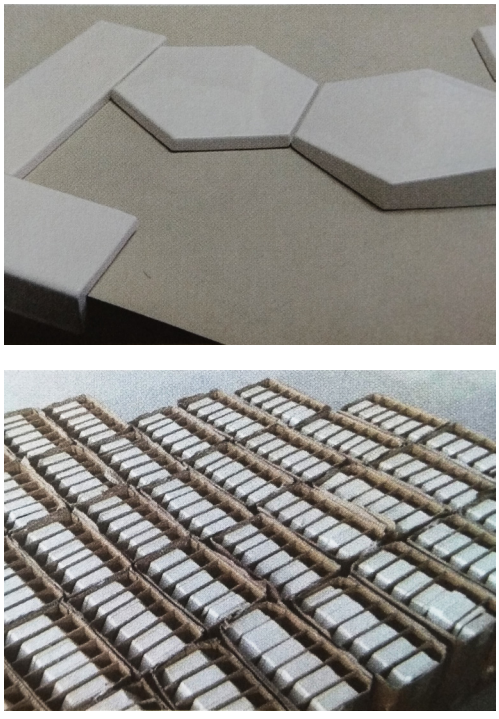
Um módulo único, mas com rotação, permitiu a disposição em 12 posições diferentes [Fig.81], com distribuição equitativa, mas aleatória, conseguindo criar uma "*ordem desordenada, ponderada em projeto e apurada em obra, garantindo-se a textura improvisada final*" (Silva, 2016a: 28). Isto levou a que, segundo o arquiteto, cada área do edifício fosse diferente, mantendo quem visita numa "*permanente descoberta e redescoberta*" (Silva, 2018). No cômputo geral, procurou-se o equilíbrio entre a grande variação formal do próprio edifício e a presença constante, mas variável, do módulo cerâmico.



▲ **Fig. 81** Esquiços realizados pelo Arquiteto com algumas notas sobre a aplicação do módulo hexagonal

Cerâmica

A escolha do material de revestimento e, posteriormente, a do seu fabricante revelaram-se processos complexos e demorados. Chegaram a estar em discussão 10 opções de materiais, dos quais a cerâmica foi a decisão final, após sucessivos adiamentos e dificuldades de negociação. Criar contacto com a indústria portuguesa foi a preferência para a produção, devido à grande quantidade de fabricantes de cerâmica a nível nacional. Para além disso, mesmo sendo uma peça fora da normalização, seria produzida em massa, o que compensaria o custo de preparar de raiz uma linha de montagem. Surgiu, finalmente, a oportunidade de colaborar com o Grupo Vista Alegre. Os componentes finais, com a qualidade desejada, foram produzidas na unidade industrial da Ria Stone, uma vez que era a mais adequada a trabalhar em grés, o material usado nas peças. Ao longo de 9 meses, foram produzidos quase um milhão de unidades, numa produção máxima de 6.000 por dia [Fig. 82].

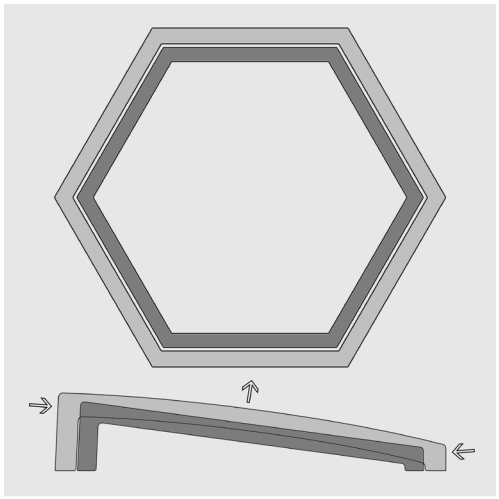


▲ **Fig. 82** Peças cerâmicas após produção e embalagem

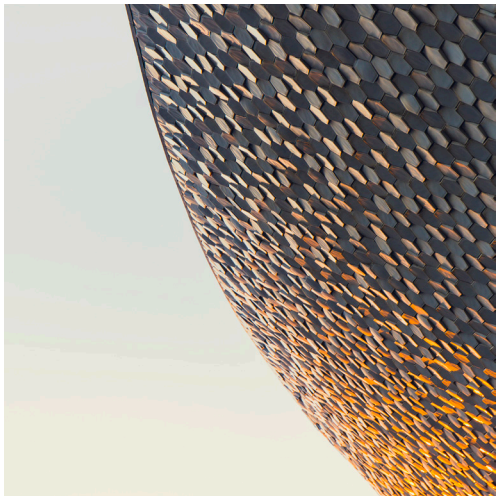
O método de fabricação "*resultou de uma preparação e produção específicas, que equacionaram as condições de durabilidade, geometria, cor e reflexo, próximas do perspetivado em projeto, o que suscitou imensos protótipos e diversas iterações*" (Silva, 2016b: 114).



▲ **Fig. 83** Fresagem por CNC de um molde para prensagem isostática - produção da Vista Alegre



▲ **Fig. 84** Diferenças entre o tamanho e forma da peça cozida (a escuro) e do molde positivo (a claro)



▲ **Fig. 85** Variação cromática do revestimento cerâmico ao pôr do sol

O processo de fabrico do módulo hexagonal tridimensional consistiu nos seguintes passos: i) fabrico do molde, ii) prensagem isostática e iii) vidragem e cozedura.

i) O molde para as peças foi produzido pelo processo de fresagem por CNC [Fig. 83] sobre um material flexível, a partir de um modelo 3D. O desenho do modelo teve em conta as alterações que a peça sofreu durante o seu fabrico, nomeadamente a retração após a queima e o abatimento da superfície, dada a força da gravidade. Assim, o desenho apresentava mais 13% de volume e a face superior era ligeiramente convexa [Fig.84].

ii) Tendo o molde, as peças foram conformadas pelo sistema automatizado de prensagem isostática. Os grânulos com 3% de humidade foram colocados no molde previamente descrito e comprimidos a alta pressão, a cerca de 300 bars. Para a descolagem do molde ser possível, as faces laterais do componente apresentam uma suave inclinação para dentro.

iii) Em relação à cor, a escolha do branco derivou dos desenhos iniciais do edifício, ainda sem acabamento, mas com forma definida. Segundo o arquiteto, o edifício "*era todo branco, nos primeiros tempos, e começou no fundo a institucionalizar-se na nossa equipa, nos nossos colaboradores e em toda a gente, a ideia de que ele era branco*" (Silva, 2018). Assim, o componente de grés apresenta um acabamento vidrado, de tom creme e com iridescências, que lhe confere variações cromáticas ao longo do dia [Fig. 85]. O processo de queima usado é a monocozedura.

O revestimento manifesta-se em seis diferentes formatos, aos quais se acrescentam duas chaminés de desigual diâmetro, também em cerâmica. As peças relevantes para o estudo são as hexagonais tridimensionais, que têm cerca de 200 cm^2 de área, dimensão de 15x17 cm e altura de 1 a 3 cm.



4.2 Extensão do Oceanário de Lisboa

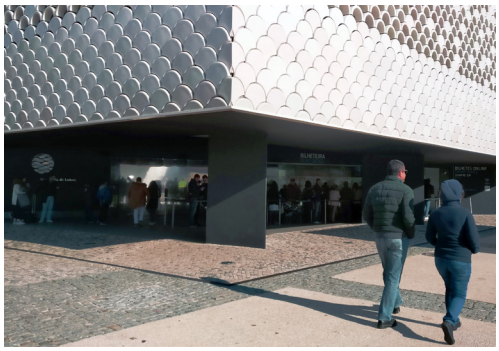
A extensão do Oceanário de Lisboa, a que se chamou de Edifício do Mar, é um projeto da autoria do Arquiteto Pedro Campos Costa. A sua inauguração decorreu em 2011 e foi o culminar de um plano de expansão dos serviços do Oceanário iniciado em 2009. O projeto implicou uma abordagem em duas frentes: intervenção num espaço público dinâmico e consolidado e diálogo com o edifício existente de Peter Chermayeff, de 1998. A localização da obra teve como princípio a continuidade com o espaço envolvente, marcado por um forte dinamismo urbano que se procurou manter, não criando barreiras visuais. Nas palavras do arquiteto em entrevista, foi uma opção "*urbanamente* [...] *acertada, porque* [o edifício] *deixou de ser mais um elemento a ocupar a praça, ficando encaixado no complexo*" (Costa, 2018). A solução arquitetónica consubstancia-se num bloco levantado do chão, que parece pairar no ar, originando uma praça agora coberta [Fig. 86].





▲ **Fig. 86** Permeabilidade espacial conseguida pela elevação do volume, permitindo a continuidade urbana da área envolvente

O volume resultante é contido num prisma irregular "*que faz o remate do edifício existente de apoio, funcionando como contraponto e complementaridade volumétrica ao edifício do Oceanário*", destacando-se deste sem ter uma forma completamente alheia (Costa, 2013: 90). O novo edifício, que serve de entrada para o Oceanário [Fig.87], liga-se ao existente através de uma ponte que dá acesso ao átrio e às rampas de circulação existentes. O mais recente acolhe uma sala de exposições, auditório, bar e serviços.



▲ **Fig. 87** Bilheteira e entrada para o Oceanário no espaço coberto

◄ **Fig. 88** Fachada de "escamas" em cerâmica que remete para um tema marítimo

Fachada

Em conversa com o arquiteto, foi destacada a imponência e a força que a fachada tem, devido à solução urbana encontrada, e a vontade de usar um material e uma figura que a reforçassem (Costa, 2018).

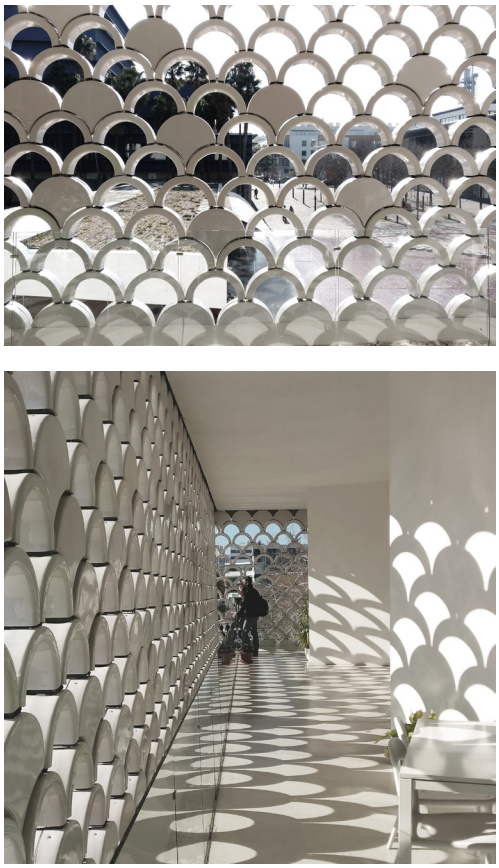
A nova cara do edifício materializa-se num revestimento cerâmico em forma de "escamas", totalizando cerca de 8000 elementos abertos e fechados [Fig.88].

O recurso à fachada ventilada, aliada à cerâmica de revestimento, resulta num sistema tecnicamente eficaz para espaços com uma grande exposição solar, como sucede neste caso, com fachadas viradas a Este, Oeste e Sul. As aberturas criadas na fachada permitem fazer ensombramento e ventilação no Verão, quando o sol está muito alto e as temperaturas são mais elevadas, e deixam entrar a luz no Inverno, conseguindo ganhos térmicos [Fig.89]. Este sistema passivo foi "*pensado, mas não estudado tecnicamente ao ponto de haver um resultado ou uma fórmula*" (Costa, 2018).

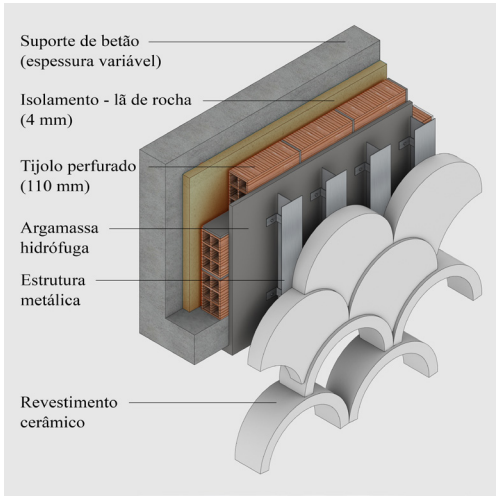
Inicialmente, o material eleito para a obra foi betão de alta *performance* na configuração de uma fachada cortina com perfurações em toda a sua extensão. A ideia do material foi abandonada devido aos elevados custos, o que levou a uma reformulação da estratégia; a opção recaiu na cerâmica, mas manteve-se a fachada cortina por questões térmicas. O programa também foi uma condicionante, na medida em que a sala de exposições passou a ser uma *black box*, impossibilitando o uso de aberturas. Assim, a fachada aberta, composta por um sistema de malha ou treliça metálica, ficou centralizada na zona do bar e terraço.

Campos Costa tinha como objetivo explorar ao máximo o potencial do material, através da construção de uma "*fachada autoportante de cerâmica, que é algo totalmente imprevisível para a cerâmica*", solução essa que, por ser demasiado dispendiosa, foi substituída por uma mais simples (Costa, 2018). A aplicação do revestimento foi feita, então, através de uma fixação mecânica [Fig.90], dadas as dimensões e peso consideráveis das peças. Neste caso, um sistema de assentamento aderente não seria eficiente, podendo provocar o descolamento das placas.

O sistema de revestimento é resolvido através de dois métodos, descritos pela empresa que o instalou, a Disset (Disset, 2012): i) fachada ventilada e ii) malha.



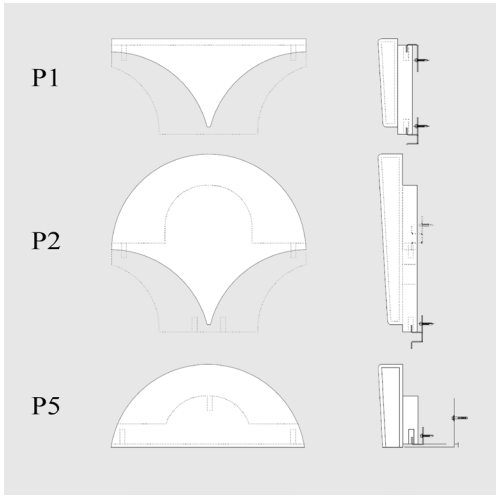
▲ **Fig. 89** Fachada com elementos fechados e abertos, que permitem a ventilação natural e a entrada de luz de Inverno



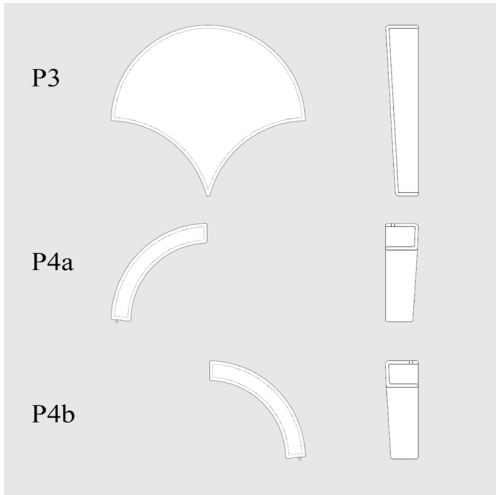
▲ **Fig. 90** Constituição do sistema de fachada ventilada do Oceanário



▲ **Fig. 91** Fachada ventilada em construção



▲ **Fig. 92** P2 - peça plana em escama com tardoz para fixação; P1 - adaptação de P2 para a extremidade superior; P5 - adaptação de P2 para a extremidade inferior.



▲ **Fig. 93** P3 - peça tridimensional em escama; P4 - peça em arco

i) A fachada ventilada [Fig.91] é formada pelos componentes cerâmicos de geometria plana que, além de serem a imagem da fachada, estabelecem a primeira barreira aos agentes climáticos. A peça mais usada na fachada ventilada é o P2 [Fig.92] e as suas respetivas variações, para resolver os pontos singulares, nomeadamente cantos, extremidade superior e inferior e o remate com as peças da malha. A subestrutura da fachada é composta por perfis verticais de alumínio PVD, separados entre si 26,35 cm, distância entre os centros das peças. Cada perfil PVD é acoplado ao suporte com cantoneiras de fixação de alumínio. A fixação destes dispositivos é feita por ancoragem química, se o suporte for a alvenaria de tijolo, e ancoragem mecânica, se o suporte for de betão. A fixação dessas cantoneiras é o primeiro passo para a montagem da fachada. Em seguida, é colocada a impermeabilização e os perfis PVD, por intermédio de parafusos de aço inoxidável. Por último, os elementos de revestimento são fixados aos perfis através de grampos de aço galvanizado PHL, que se encaixam nas ranhuras do tardoz das peças. Nos pontos de contacto com o PHL é aplicada uma resina de vedação, que garante a união correta.

ii) Esta parte única da fachada é constituída pelas peças P4, elementos abertos em forma de arco, e P3, elementos opacos tridimensionais [Fig.93]. A execução da malha tem como base a construção de um esqueleto interno de aço galvanizado a quente, que se fixa à subestrutura da fachada ventilada. Os arcos de aço, introduzidos nas peças de cerâmica, são formados por uma chapa de 3 mm dobrada em forma de arco perfeito que é adaptada para permitir a colocação dos elementos de união. Para fixar as peças cerâmicas à subestrutura são usados parafusos de aço, que facilitam a manutenção e a substituição de peças. As opacas são fixas da mesma forma, para garantir a continuidade da malha de aço que forma o esqueleto estrutural.

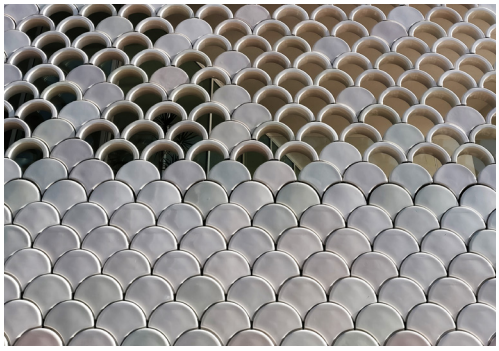
A fachada é rematada nas extremidades superior e inferior com uma chapa perfurada, que possibilita uma ventilação adequada. Apesar da existência de duas soluções de revestimento, procurou-se que a fachada fosse uniforme, sem descontinuidade entre os sistemas (Disset, 2012).

A imagem exterior do edifício é caracterizada por um padrão repetido de escamas, inspirado em Asplund, que evoca não só um tema marítimo associado ao Oceanário, mas também uma imagem presente na arquitetura das cidades, em janelas, guardas e pavimentos, em Lisboa e noutras partes do mundo (Costa, 2018). Para criar mais algum relevo, que não viesse somente das juntas abertas e do arredondamento dos contornos das peças, estas foram desenhadas com uma ligeira inclinação de 1º [Fig.94].

Cerâmica

A escolha do produtor dos elementos da fachada começou em Portugal, na Viúva Lamego. O arquiteto procurou desenvolver as peças com esta empresa por 3 ou 4 meses, durante os quais foram realizados testes em peças mais complexas e mais pequenas, que não resultaram na fachada (Costa, 2018). Entretanto, criou-se contacto com a Cerâmica Cumella, em Espanha, que celeremente enviou uma proposta de um protótipo. Depois de muitas experiências e afinações, concretizou-se uma peça de 60 cm que, por causa dos elevados custos, foi reduzida para 50 cm.

Os três principais tipos de elementos de revestimento, i) peça opaca plana, ii) peça opaca tridimensional e iii) peça aberta em forma de arco, dadas as suas diferenças geométricas e técnicas, exigiram processos de fabrico e lógicas de montagem distintos e costumizados. Para reduzir os custos, o arquiteto Campos Costa e a Cerâmica Cumella colaboraram para projetar um elemento que pudesse usar uma subestrutura de fachada ventilada normalizada (Bechthold, 2015: 180).



▲ **Fig. 94** Elementos da fachada apresentam uma inclinação que lhe confere tridimensionalidade

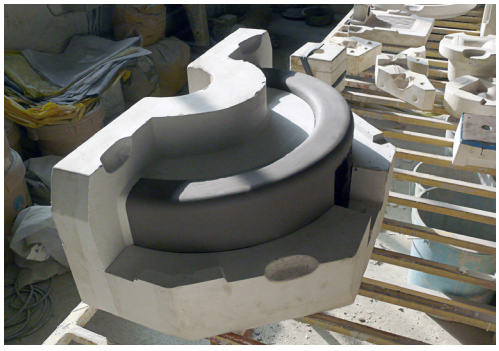


▲ **Fig. 95** Extrusão e *die-cutting* em forma de escama das peças P2





▲ **Fig. 96** Elementos opacos tridimensionais com as aberturas criadas manualmente para a introdução do sistema de fixação





▲ **Fig. 97** Chacota da peça em arco dentro do molde de gesso; peça em contexto de obra, realce para as juntas abertas

i) As peças P2, que compõem a maioria da fachada, começaram o seu processo de fabrico com uma extrusão. Depois, foram cortadas com uma matriz rígida personalizada em forma de escama e colocadas na prensa plástica, onde adquiriram a sua forma final [Fig.95].

ii) Os elementos opacos tridimensionais, que transitam visualmente entre os dois sistemas de fachada são, na verdade, duas formas espelhadas. Tal como as anteriores, foram extrudidas, cortadas com a forma pretendida e prensadas. As aberturas para o sistema de fixação foram feitas manualmente, usando cortadores de fio personalizados [Fig.96].

iii) Os elementos abertos em forma de arco foram fabricados pelo processo de colagem de barbotina [Fig.97]. As aberturas no topo foram incluídas no molde e não cortadas à mão no pós-processamento. Os parafusos que unem os elementos da malha metálica conferem às peças alguma mobilidade devido às diferentes taxas de expansão térmica da cerâmica e do aço, que de outra maneira causariam fissuras na cerâmica.

Os poucos elementos de canto foram prensados, cortados e colados entre si de forma manual, sem recorrer a moldes personalizados, que iriam aumentar os custos de produção.

Os componentes apresentam um acabamento vidrado tenuemente baço, aplicado em *spray*. Foram escolhidos intencionalmente 9 tons de esmalte branco, que conferem vivacidade cromática à fachada. Dependendo da hora do dia e da qualidade lumínica, a fachada vibra em tons subtis de verde, amarelo e azul, refletindo a sua envolvente (Bechthold, 2015: 180). O arquiteto inclusivamente assume que "*este é o projeto mais paisagístico*" que fez até hoje, uma vez que se altera com os elementos naturais (Costa, 2018). A colocação das peças, ao nível da cor, foi completamente aleatória.


maat

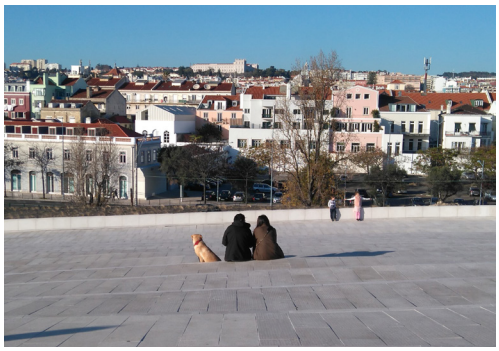
4.3 Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia, Lisboa

O Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia é um projeto do Atelier AL_A, liderado pela Arquiteta Amanda Levete, e inaugurado em 2016. O novo centro cívico e cultural da Fundação EDP foi construído junto ao Museu da Eletricidade em Belém. Nas palavras da Arquiteta Amanda Levete, o MAAT "*é um edifício poderoso embora sensível e de baixa altura, que explora a convergência da arte, arquitetura e tecnologia contemporâneas*" (AL_A, 2017). O projeto privilegiou o espaço público, fazendo uso da cobertura para a criação de um miradouro virado para o rio e para a cidade [Fig.98].

A localização junto ao rio permitiu variações lumínicas dadas por três elementos: céu, sol e água. De acordo com o Atelier AL_A, "*o próprio rio com as ondulações da água foi uma inspiração para o nosso* design", que visou ecoar "*a maneira como o rio refletia a água e a riqueza das sombras projetadas pela água ondulante*" (AL_A, 2018: 1).

O volume desenhou-se com "*um gesto simples e orgânico*" que o elevou suavemente a uma altura máxima de 14m, criando "*uma forma topográfica que se mistura com a paisagem*" (AL_A, 2018: 2). Proporcionou-se uma fachada de superfície sinuosa, parcialmente em consola, que se rasgou em duas para criar uma entrada de luz [Fig.99].





▲ **Fig. 98** Vista do miradouro para o rio (em cima) e para a cidade (em baixo)

◄ **Fig. 99** Fachada curvilínea do MAAT, que se estende em balanço, fazendo um miradouro

Fachada

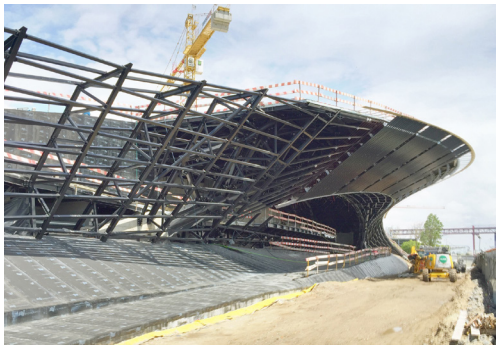
O desenho da fachada foi definidor da viabilidade de construção do projeto e, consequentemente, da divisão modular da superfície. Esta foi submetida a diversas alterações e afinações até se chegar a uma geometria na sua maioria regrada. Segundo os arquitetos, era "*fundamental que a maior parte da superfície fosse gerada arrastando uma linha reta ao longo de dois trilhos, uma vez que isso permitir-nos-ia encontrar uma solução modular, embora haja áreas do projeto que são curvas duplas subtis*" (AL_A, 2018: 2).

O primeiro revestimento imaginado foi um sistema de placas de cobre. Com as visitas ao local, a equipa foi-se apercebendo do quão exagerado era e de que a fachada pedia "*algo de muito neutro, que tal como a água apanhasse as luzes diferentes*" (Levete cit. por Salema, 2016). Como trabalharam com a cerâmica no projeto do Museu Victoria & Albert, escolheram novamente esse material para o MAAT.

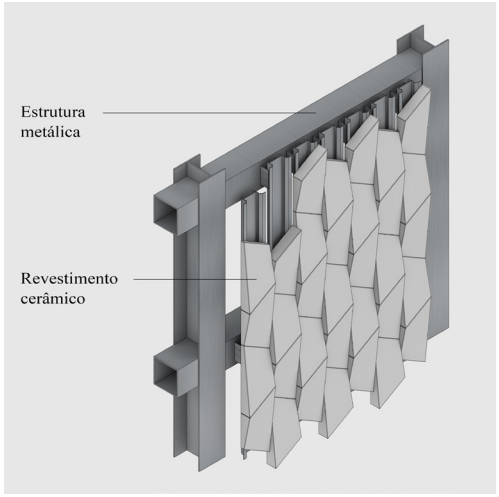
O desenho do módulo e padrão respondeu a exigências como a adaptação à geometria da superfície e reflexão da luz. A restrição do orçamento condicionou a quantidade de peças diferentes, uma vez que o custo de moldes ou o recurso a fabricação por CNC eram limitantes. A solução encontrada foi uma grelha hexagonal dividida que, de acordo com os arquitetos, "*poderia adaptar-se facilmente às superfícies regradas e às áreas de transição compostas por uma dupla curvatura suave*" (AL_A, 2018: 3).

Construtivamente, a fachada principal do edifício consiste numa estrutura metálica em treliça [Fig.100], que não a torna tão pesada, principalmente nos tramos que estão em consola. As peças cerâmicas usam um sistema de fixação mecânica [Fig.101], que foi desenhado através de um programa de parametrização, que calculou "*a posição vertical da subestrutura em relação à grelha hexagonal dividida e os alinhamentos desejados da peça*" (AL_A, 2018: 7). Os mecanismos de fixação variam com cada tipo de peça, devido aos diferentes processos de fabrico. Cada uma das peças é fixada em 4 locais.

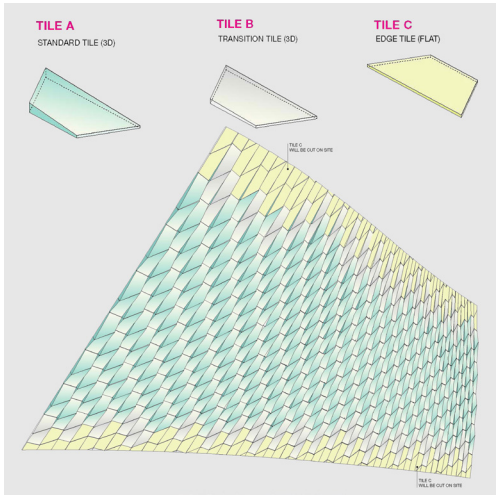
As 3 peças, designadas por A, B e C, apresentam a mesma base trapezoidal, mas têm alturas diferentes. A primeira tem um lado com 3cm e outro com 6,5cm, formando uma superfície regrada. A segunda faz a transição entre as peças altas que ocupam o centro da fachada e as planas que estão nas extremidades; têm 5,5cm de altura. As peças C são as planas, que resolvem o remate orgânico da fachada; estas são cortadas no local [Fig.102].



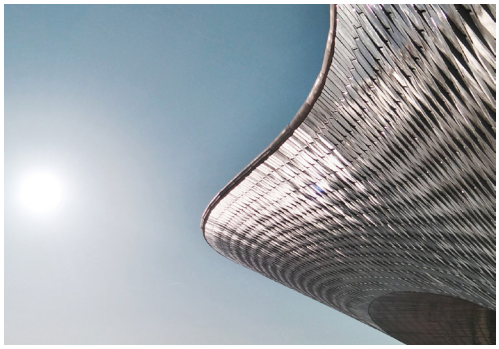
▲ **Fig. 100** Fachada do MAAT em construção



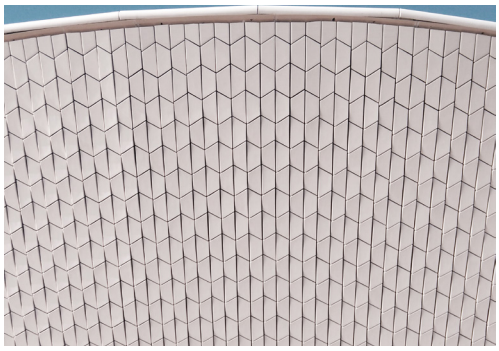
▲ **Fig. 101** Sistema de revestimento do MAAT, formado pela estrutura metálica e pelo cerâmico



▲ **Fig. 102** A - peça tridimensional alta; B - peça tridimensional de transição; C - peça plana



▲ **Fig. 103** Reflexos lumínicos sobre o revestimento cerâmico



▲ **Fig. 104** Área central da fachada, em balanço, onde as peças estão alinhadas



▲ **Fig. 105** Detalhe do desalinhamento dos componentes da facahada

A tridimensionalidade dos elementos cerâmicos permitiu, por um lado, acomodar a geometria da fachada e, por outro, gerar relevo de forma a ter reflexos de luz em diferentes direções. As faixas verticais que caracterizam a fachada foram conseguidas pela justaposição de módulos sem rotação intercalados com módulos girados a 180 graus. Segundo os arquitetos, o objetivo era "*recriar o ondulado efeito da superfície da água*". A alternância entre as peças produz sombras que variam ao longo do dia e do ano, "*criando efeitos dramáticos com longas sombras lançadas pelo nascer e pôr-do-sol*" (AL_A, 2018: 4) [Fig.103]. As tiras verticais foram cuidadosamente niveladas, de forma a que, na parte central da fachada, as peças ficassem alinhadas. Nesta área, a grelha hexagonal torna-se claramente identificável em alçado, mesmo coincidindo com a parte do edifício que está em consola [Fig.104].

À medida que a superfície da fachada se aproxima das extremidades, esta começa a torcer, passando de um plano inclinado para um vertical. Como consequência de ser uma superfície regrada, os elementos tornam-se gradualmente desalinhados [Fig.105]. Os arquitetos consideraram que este "*é um sistema de peças modulares simples, mas dinâmico*" e que conferiu mais expressão à fachada (AL_A, 2018: 5).

Os movimentos da estrutura do edifício, devido às cargas e às dilatações térmicas, são absorvidos pelas juntas abertas entre os ladrilhos.

Cerâmica

Relativamente ao material escolhido, a cerâmica, a intenção dos arquitetos foi desenvolver um conjunto de peças que conferisse múltiplas leituras, e que jogasse com a luz, sombra e reflexos. Desta forma, "*a selecção da cerâmica foi completamente diferente por causa dos requerimentos da fachada*", implicando uma rigorosa escolha (Levete cit. por Salema, 2016).

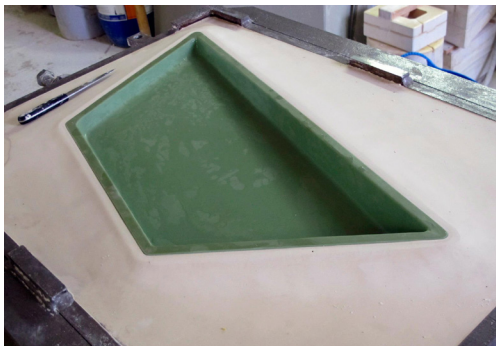
Todos os tipos de elementos cerâmicos foram fabricados usando a mesma base de argila, branca e muito fina. A mistura selecionada foi um grés semivítreo. "*A base é constituída essencialmente por dois tipos de argila, uma siliciosa e outra sílica aluminosa. O caulim e outros cristais minerais de cor pálida são então adicionados para clarear a mistura*" (AL_A, 2018: 6). As peças tridimensionais viram a sua mistura ser reforçada com uma base de resina epóxi e fibra de vidro, de modo a garantir a segurança em caso de fratura.

Os dois tipos de componentes cerâmicos, os i) tridimensionais e os ii) planos, dadas as suas diferenças geométricas e técnicas, exigiram métodos de fabrico distintos. A fábrica responsável pela produção foi a mesma do Oceanário, a Ceràmica Cumella.

i) As peças tridimensionais A e B foram fabricadas por prensagem plástica [Fig.106]. Primeiramente, foi preparado um bloco de argila extrudido, que passou por um corte e foi vincado para obter o formato desejado. A conformação deu-se numa prensa plástica, entre dois moldes, um de gesso e outro de um material flexível. Após a prensa, a peça foi removida por injeção de ar em alta pressão. Um molde de poliestireno expandido fresado por CNC foi utilizado como suporte de assentamento, para evitar que a peça perdesse a sua forma, dada a extensa área em suspensão [Fig.107].

ii) As peças planas C foram fabricadas mediante dois processos mecanicamente assistidos. A mistura de argila foi colocada numa máquina de extrusão. A matriz rígida foi concebida especialmente com as dimensões desejadas. Este tipo de peça apresenta uma secção perfurada, de modo a ser mais leve e a permitir o uso dos vazios para a fixação mecânica. A secção extrudida é cortada com uma máquina hidráulica, com uma matriz de corte em forma trapezoidal [Fig.108]. As dimensões das peças planas utilizadas no projeto são: 60x26x3 cm e 75x26x3 cm (AL_A, 2018: 6).

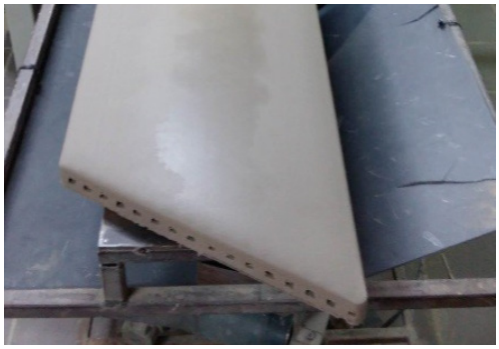




▲ **Fig. 106** Processo de pensagem plástica - conformação e molde flexível



▲ **Fig. 107** Peça tridimensional sobre o molde de suporte em EPS



▲ **Fig. 108** Peça plana após extrusão e corte

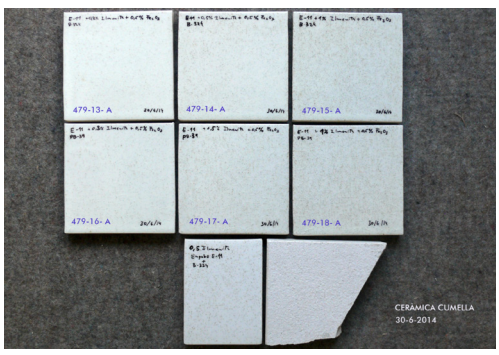
Os elementos foram secos em duas etapas: primeira, numa câmara de secagem de 12 horas com uma temperatura constante; segunda, por um processo intermitente, que dura cerca de 30 horas, aumentando progressivamente a temperatura em 60ºC.

Após a secagem, as peças foram revestidas com uma fina camada de solução de argila chamada engobe, que consiste numa camada inferior para controlar a cor de base antes de aplicar o esmalte. Esta foi aplicada com o objetivo de conferir à peça um efeito craquelê [Fig.109]. De acordo com Amanda Levete, "*a ideia é que o museu tenha duas leituras: aquela que vemos de longe, com os efeitos da água reflectida, e a mais de perto, em que as pessoas vão perceber que há uma qualidade que é quase manufacturada*" (Levete cit. por Salema, 2016). O engobe é composto de argila de bola, caulim e outros minerais, incluindo ilmenita, que confere um tom metálico às peças e aumenta os efeitos da luz.



▲ **Fig. 109** Peça cerâmica com o efeito craquelê





▲ **Fig. 110** Experiências de materialidade realizadas pela Ceràmica Cumella, para chegar ao engobe e ao esmalte ideais

O esmalte ideal para o brilho e transparência pretendidos foi conseguido através de um processo de tentativa e erro, pela Cumella [Fig.110]. Outro fator a ter em conta foi a garantia da consistência do efeito estalado. Para tal, o esmalte tinha que ter um elevado coeficiente de expansão, de modo que a mudança súbita de temperatura induzisse o efeito craquelê (AL_A, 2018: 7). Para assegurar uma fácil limpeza e manutenção, em caso de vandalismo, foi aplicado um revestimento protetor final a cada peça. O tratamento hidrofóbico recorreu a nanotecnologia para proteger as fraturas induzidas no esmalte.

As peças cerâmicas foram cozidas a 1230º C. A essa temperatura, a mistura de argila passou por um processo de vitrificação, o que garantiu uma absorção máxima de 3% de água. Isso significou que as peças poderiam ser cortadas no local, evitando qualquer tratamento específico para as bordas.

5.
EXPERIMENTAÇÃO PRÁTICA

5.1 Reflexão

Depois do levantamento e análise dos três casos de estudo, relacionados com os temas desta dissertação, importa proceder a uma breve reflexão comparativa e mais abrangente.

Em comum, as três obras denotam a intenção dos arquitetos de estender o desenho de projeto até ao desenho do revestimento. Por outras palavras, não se satisfazem a prescrever uma solução *standard* de catálogo, preferindo ter controlo sobre a definição integral do revestimento da sua criação. Vemos, assim, que as suas intenções de projeto não terminam na definição formal do edifício, mas vão mais além, considerando o desenho do seu revestimento. Com este objetivo, os arquitetos tiveram que abordar várias questões materiais como composição, acabamento da superfície, processo de fabrico e método de aplicação.

As fachadas destes edifícios revelam o desígnio dos arquitetos em desenhar essas superfícies, procurando resolver esquinas, vãos, remates superior e inferior, entre outros detalhes construtivos. Porém, esta personalização enfrenta limitações, das quais se destaca a financeira. Por exemplo, o arquiteto Pedro Campos Costa revelou na sua entrevista que viu restringidas as suas ideias iniciais para a fachada devido aos elevados custos. O intuito era maximizar o potencial do material, tornando estruturais as peças cerâmicas, mas tal não foi exequível (Costa, 2018). Perante esta dificuldade, importa averiguar a sua natureza para perceber se, no âmbito do tema da dissertação, a tecnologia digital poderia ser uma solução para as ultrapassar.

No meu entendimento, as ideias na base da exploração do potencial de um material podem apresentar diferentes níveis de complexidade, resumidos no quadro da Fig.111. Este organiza-se em 3 temas: o desenho, a produção e a aplicação do módulo, entre outros subtemas que os complementam, para além de exemplos que ilustram cada situação.

O desenho do módulo pode variar entre o definido pela indústria e o personalizado pelo arquiteto ou *designer*.

A produção distingue uma linha de montagem existente de uma preparada propositadamente. Menciona-se também a quantidade da produção, que pode ser alta, média ou baixa. Exemplificando, o Terminal levou ao fabrico de quase um milhão de peças, ao contrário do Oceanário e do MAAT, com cerca de 8000 e 15000 peças, respetivamente.

O tema da aplicação reparte-se pela execução do revestimento, agregação de módulos e repetição. A primeira refere-se à fixação dos módulos ao suporte e a segunda ao desenho do seu conjunto, que podem não ser indissociáveis. O exemplo do Terminal de Cruzeiros ilustra esta questão. Por um lado, se retirar o fator da tridimensionalidade, resta uma grelha hexagonal *standard*; por outro, a associação dos módulos 3D é personalizada. O nível de repetição baseia-se na leitura das fachadas, por parte do autor, relativamente a uma maior ou menor presença de módulos repetidos.

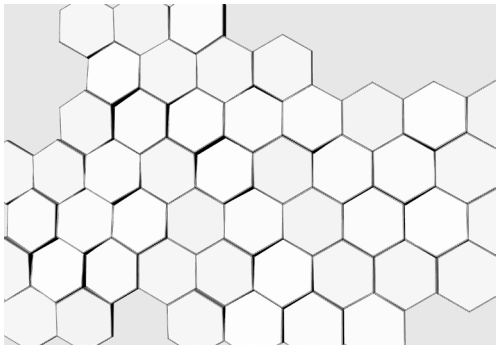
O aumento da complexidade, em direção a uma personalização mais completa, pode ser potenciado pela introdução de tecnologias digitais. Para o desenho, há a parametrização, para a produção a fabricação digital e para a aplicação a robotização automatizada.

▼ **Fig. 111** Quadro realizado pelo autor com os níveis de complexidade no desenho, produção e aplicação dos módulos

COMPLEXIDADE	DESENHO	PRODUÇÃO	APLICAÇÃO				EXEMPLOS
	Módulo		Quantidade	Execução do revestimento	Agregação de módulos	Nível de repetição	
−	**N** (normalização)	N	Alta	N	N	Alto	Casas azulejadas Arquitetura popular
	N	N	Alta	N	P	Alto	"Cota Zero" – Terminal Fluvial do Terreiro do Paço Catarina e Rita Almada Negreiros
	N	N	Alta	P	P	Baixo	Ceramic Museum and Mosaic Park, Jinzhou Helena Casanova e Jesus Hernandez
	P (personalização)	P	Alta	N	P	Alto	Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões Luís Pedro Silva
	P	P	Média	P	P	Alto	Extensão do Oceanário de Lisboa Pedro Campos Costa
							MAAT Amanda Levete
+	**P**	P	Baixa	P	P	Baixo	?

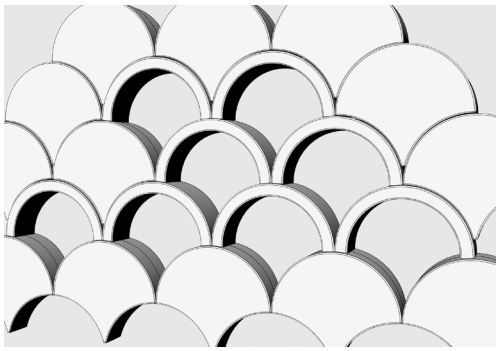
Uma reflexão mais centrada nos casos de estudo vai ao encontro dos desafios e problemas encontrados no levantamento e análise de cada um, na relação entre material, projeto e tecnologia.

No Terminal de Cruzeiros, uma das intenções do arquiteto para a fachada era que o desenho da sua superfície não se repetisse. Essa vontade de que todas as partes fossem singulares levou à criação de uma "*textura improvisada*" (Silva, 2016a: 28), que se perfez em duas situações: a rotação aparentemente aleatória das peças cerâmicas e a tridimensionalidade que a viabilizou. O conceito de relevo é, assim, o mais interessante para explorar [Fig.112].



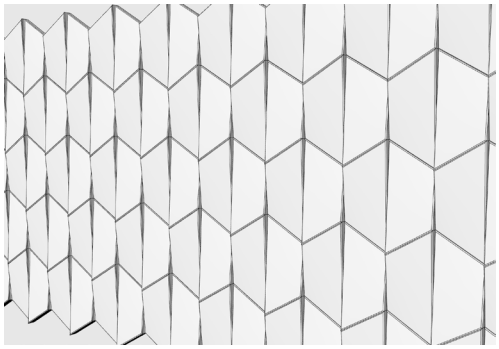
▲ **Fig. 112** Modelo em Rhino do relevo da superfície do Terminal

No Oceanário, a principal problemática é a relação entre os elementos abertos e fechados [Fig.113]. Como manifestado na entrevista e ilustrado pela maqueta de estudo, a ideia inicial era ter uma fachada mais "*interessante, que era toda perfurada, não só a zona do bar*" (Costa, 2018). Essas perfurações apresentavam diferentes tamanhos, criando um efeito de gradação, que não se transpôs para o desenho atual da fachada. A cerâmica de certa forma limitou a exploração de um conceito de variação de abertura, mas permitiu a existência de uma modulação, por exemplo.



▲ **Fig. 113** Modelo em Rhino dos elementos fechados e abertos da fachada do Oceanário

No MAAT, a primeira dificuldade a ultrapassar foi a adaptação do módulo à geometria irregular do edifício. Inicialmente, a divisão modular da superfície resultou num desenho em que as peças iriam ser todas diferentes, o que se revelou impraticável. Depois, já com um conjunto de peças repetidas, os arquitetos reiteraram a questão da reprodução do efeito da água na fachada, que conduziu à forma geométrica encontrada - o trapézio [Fig.114]. Houve aqui uma vontade de que a forma fosse simultaneamente orgânica e geométrica, o que no meu entender é potenciada pelo uso de uma superfície de dupla curvatura e pela estratégia de emprego da forma trapezoidal na definição de uma grelha hexagonal.



▲ **Fig. 114** Modelo em Rhino da fachada do MAAT, que remete para o efeito da água

5.2 Exploração digital

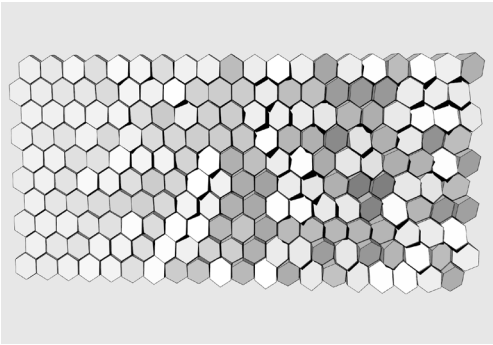
Após as considerações sobre o papel, e limitações, do desenho e do material de revestimento na definição do projeto arquitetónico das três obras de referência, realizou-se uma experiência prática que procura investigar como é que as tecnologias de desenho e fabricação digital podem ampliar as condições para o desenho e materialização dos seus revestimentos em cerâmica. Com esta metodologia, procurou-se complementar a investigação e fundamentar a análise teórica realizada, além de adquirir competências práticas para o exercício do projeto a este nível.

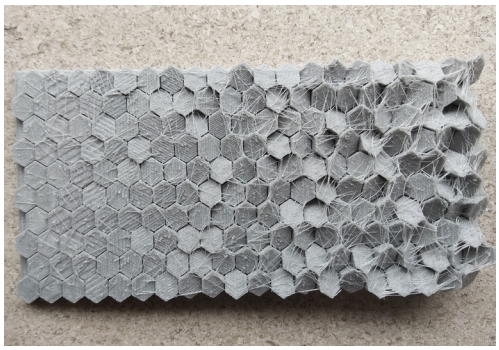
O objeto de estudo consiste num conjunto de módulos que formam uma parede. Esse elemento vertical testa a variação formal possível com a parametrização, baseada e inspirada nos conceitos arquitetónicos determinantes para cada caso, respetivamente, relevo, abertura e forma.

Para a exploração digital, foi escolhido o *software* Rhinoceros 3D, em conjunto com o *plug-in* de desenho paramétrico Grasshopper, por já ter conhecimentos destas linguagens de programação visual.

Primeiramente, foram reproduzidos com precisão os módulos cerâmicos em Rhinoceros [Fig.112-114]. O recurso a um programa de desenho explícito foi suficiente para perceber como foram desenhadas as peças e como estas funcionam nas respetivas fachadas. O passo seguinte foi o desenvolvimento de uma definição em Grasshopper. Compreendendo e modelando as regras geométricas de cada componente, é possível fazê-lo variar de forma interativa, através de alterações dos valores dos parâmetros. Gerir e controlar o desenho de milhares de módulos diferenciados torna-se tão fácil como se de módulos iguais se tratasse.

As geometrias criadas no Grasshopper foram exportadas para o Rhinoceros no formato de STL, para a produção de protótipos rápidos em PLA a uma escala reduzida, recorrendo a uma impressora 3D. Os modelos serviram para materializar um cenário de variação.





▲ **Fig. 115** Modelo paramétrico com a variação escolhida para o protótipo em impressão 3D

▼ **Fig. 116** Variações formais do modelo paramétrico do Terminal, que permite o seguinte conjunto de variáveis: inclinação do plano superior; altura dos módulos e rotação do plano inclinado

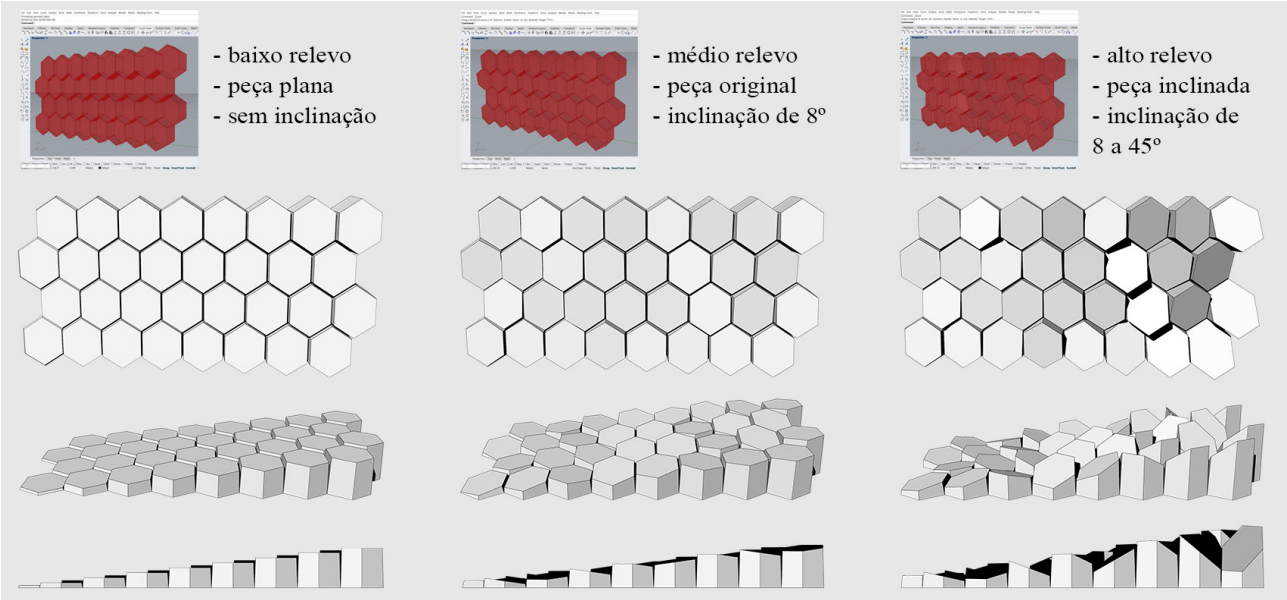
Relevo - Terminal de Cruzeiros

Este exercício apoiou-se no conceito de relevo, que se manifestou na altura da peça e na inclinação da sua superfície.

Através da parametrização, procura-se conhecer os limites da inclinação da superfície da peça. Como valor mínimo, tem-se uma forma totalmente plana, que é já um módulo existente no projeto. Como variação máxima, a superfície hexagonal pode inclinar a 45º, um valor bastante considerável tendo em consideração a inclinação de 8º das peças originais. Com um valor superior a 45º, embora possível, a forma hexagonal da superfície perdia a sua identidade.

A partir de uma grelha hexagonal, foram extrudidas as superfícies até formar um prisma. As faces superiores são, na verdade, ligeiramente mais pequenas, de forma a adquirir alguma textura.

Tendo em conta a investigação e análise dos processos de fabricação digital, apresenta-se uma sugestão de como estas peças poderiam ser materializadas. Poderia ser através da impressão 3D por extrusão (EAC) sobre um molde de suporte para assentamento, o qual é fresado por CNC.



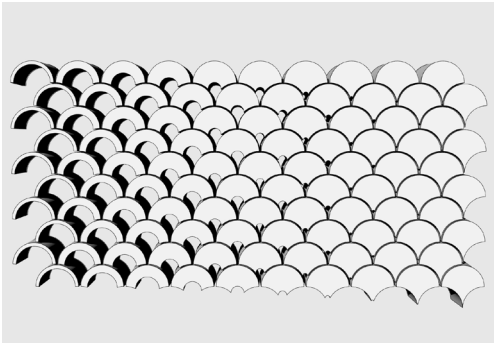
Abertura - Extensão do Oceanário

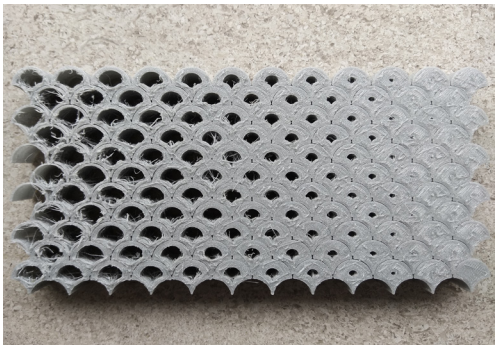
Este exercício procura criar uma definição paramétrica que explore a gradação de abertura, uma ideia inicialmente considerada pelo arquiteto e que a escolha da cerâmica impossibilitou.

Neste caso, os elementos abertos e fechados são já os limites possíveis, pelo que se procura a variação formal intermédia que permite o controlo das aberturas.

Partindo de uma grelha quadrada, foram encontrados os principais pontos, a partir dos quais foram desenhados os arcos que definem a forma de escama do módulo. Este adquiriu alguma altura. Do arco superior, foi criado outro de uma escala inferior, que tem como ponto de origem a ponta inferior da escama. Daí é possível conferir uma abertura que vai até 90% da área, sendo que a totalidade corresponde à ausência da peça.

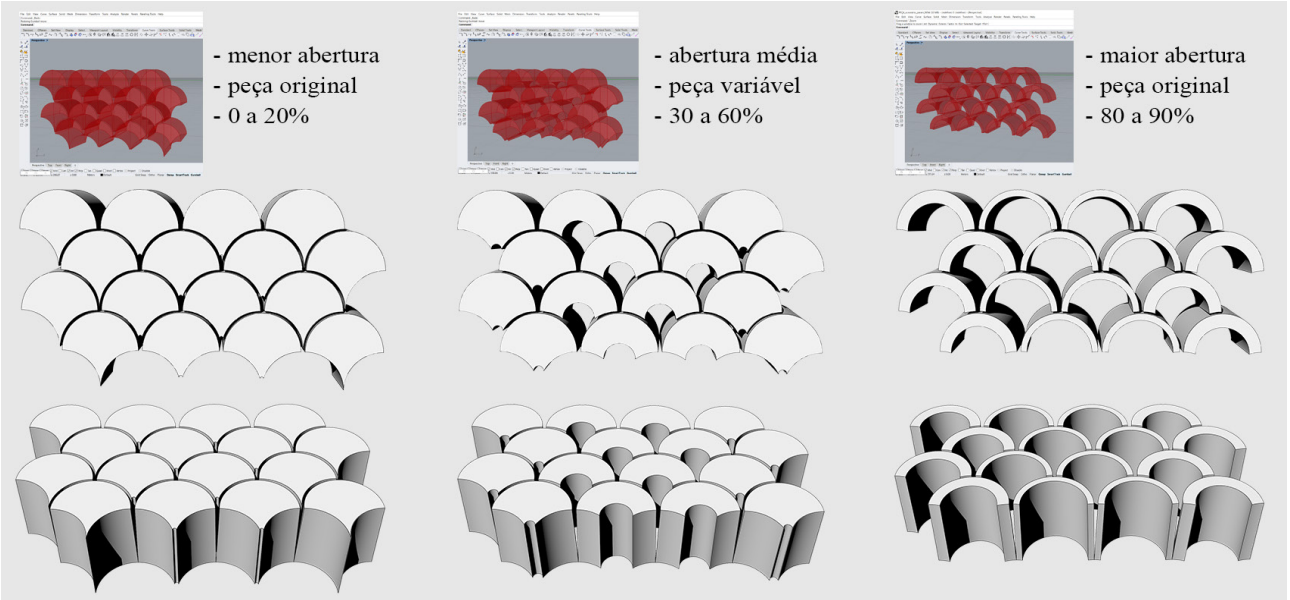
A mesma sugestão de materialização para estas peças é aqui apresentada: da impressão 3D baseada na extrusão (EAC) sobre um molde de suporte, o qual é fresado por CNC. Isto permite, por um lado, a deposição contínua de material e, por outro, a reutilização do molde, que pode sofrer novas subtrações.

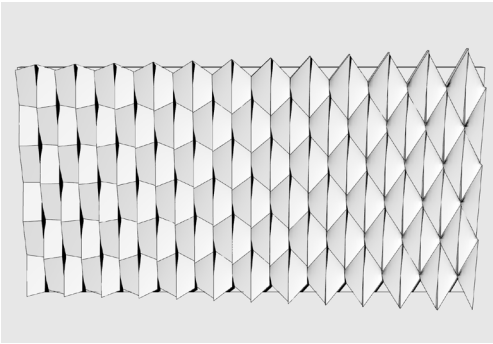




▲ **Fig. 117** Modelo paramétrico com a variação escolhida para o protótipo em impressão 3D; o protótipo não corresponde com precisão ao desenho digital, porque foi produzido numa fase anterior à definição final

▼ **Fig. 118** Variações formais do modelo paramétrico do Oceanário, que permite o seguinte conjunto de variáveis: altura dos módulos; maior ou menor abertura







▲ **Fig. 119** Modelo paramétrico com a variação escolhida para o protótipo em impressão 3D; o protótipo não corresponde com precisão ao desenho digital, porque foi produzido numa fase anterior à definição final

▼ **Fig. 120** Variações formais do modelo paramétrico do MAAT, que permite a seguinte variável: deslizamento dos vértices sobre um eixo vertical

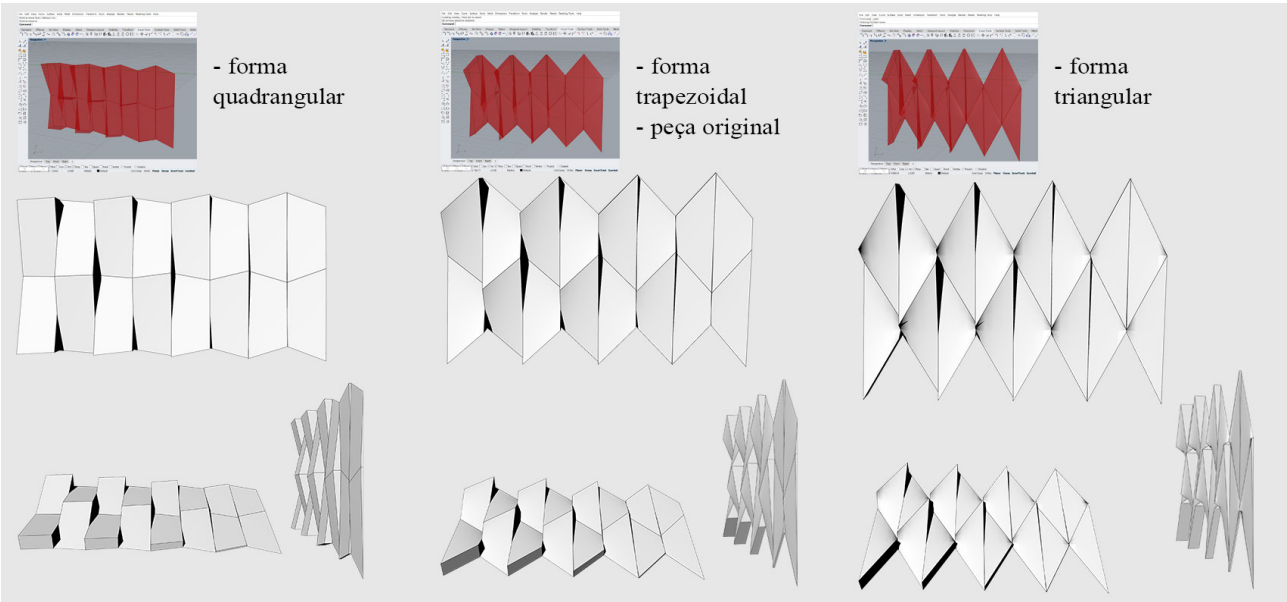
Forma - MAAT

Este exercício faz uso do desenho paramétrico para perceber quais os limites formais do contorno da peça, de modo a conceber uma definição que explore um cenário de variação com base no trapézio.

Neste caso, não há um valor máximo ou mínimo de variação, mas uma aproximação a duas formas geométricas. Os vértices do trapézio, deslizados sobre um eixo, permitiram a transformação da forma da face superior num retângulo ou num triângulo.

Por um lado, a aproximação ao retângulo faz com que a parede se torne mais geométrica, devido à superfície que deixa de ser regrada e passa a ser planar. Por outro lado, com o triângulo, a parede atinge o seu máximo de organicidade, essencialmente devido à sua superfície de dupla curvatura que é acentuada. Tanto num limite como no outro se denota o efeito ondulado da água, pretendido para o projeto da fachada, embora com características distintas: geométrico e orgânico.

Para a materialização destes componentes cerâmicos, é apresentada a mesma proposta dos dois exemplos anteriores.



6.
CONCLUSÃO

6. Conclusão

A conclusão apresenta os resultados mais relevantes deste trabalho e ainda algumas contribuições para a introdução de tecnologias de desenho e fabricação digital no projeto arquitetónico, mais concretamente, no desenho de fachadas.

Com esta investigação, foi possível estudar a cerâmica no projeto de arquitetura, enquanto material com identidade própria e que valoriza a obra onde se insere.

A dissertação foi dividida em duas partes principais. A primeira, de cariz teórico, permitiu compreender as características do material cerâmico, além das suas possibilidades e problemas, na relação com o projeto de fachada e com as novas tecnologias. A segunda parte, de um teor prático, partiu do levantamento e análise dos 3 casos de estudo para a realização de uma experiência prática. Ainda que de forma generalizada, e restringida pelos limitados recursos de fabricação digital, foi possível apontar diversas possibilidades formais e materiais da cerâmica para fachadas, que podem abrir portas a experiências futuras neste campo.

Através de um levantamento e pesquisa, foram identificados alguns processos e tecnologias de fabricação digital específicos para a produção de cerâmica, de intervenção direta e indireta, e alguns exemplos concretos da sua utilização.

As experiências práticas elaboradas nesta investigação evidenciaram que o uso de tecnologias digitais, tal como acontece com outros materiais, abre novas oportunidades e possibilidades para o desenvolvimento de soluções de revestimento cerâmico em fachadas. Em contexto de construção, todavia, há impedimentos, geralmente do foro financeiro e industrial, no desenvolvimento das ditas soluções. Contudo, a tendência da democratização tecnológica aponta para que estas restrições venham a ser ultrapassadas num futuro próximo.

As sugestões de materialização para as peças desenhadas que referi no capítulo anterior procuram o encontro entre métodos já usados industrialmente, como a fresagem, e outros mais inovadores, como a impressão 3D em cerâmica, que caminham para uma utilização cada vez mais frequente.

Os métodos de produção cerâmica industriais, como a prensagem, colagem e extrusão, oferecem limitadas oportunidades de personalização, embora permitam a poupança de custos, que é inevitavelmente um fator com muito peso na escolha do revestimento. Desta forma, considero positiva a procura por um compromisso entre um método de produção em massa, complementado por um adicional, que recorra às tecnologias CAM para introduzir essa personalização que era restringida com métodos tradicionais.

Aliado ao crescimento de simulações digitais e à rapidez na prototipagem, o arquiteto pode controlar todo o processo através do computador, além de ter uma maior liberdade de escolha das formas e sistemas construtivos. A indústria deve acompanhar a evolução digital, o que aumenta a necessidade de criar pontes com a arquitetura, de modo a que se possam influenciar mutuamente.

A agilidade de passar do desenho ao produto e a gradual acessibilidade às máquinas de fabricação digital fazem com que a exploração de soluções personalizadas em arquitetura seja cada vez mais acessível. Nessa condição, o desenho de projeto pode estender-se com outra flexibilidade e vigor até ao desenho do próprio material. Dotada de propriedades muito interessantes, a cerâmica é, pois, um dos materiais que tem muito a beneficiar com a inovação tecnológica descrita nesta dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros

APICER

Manual de alvenaria de tijolo. Coimbra: APICER, 2000.

Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos. Coimbra: APICER, 2003.

ALLEN, Edward

How buildings work: the natural order of architecture. 2ª ed. New York: Oxford University Press, 1995. ISBN 0-19-509100-0

ALLEN, Edward; IANO, Joseph

Fundamentals of building construction: materials & methods. 5a ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 978-0-470-07468-8

ASHBY, Michael; SHERCLIFF, Hugh; CEBON, David

Materials: engineering, science, processing and design. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8391-3

BECHTHOLD, Martin; KANE, Anthony; KING, Nathan

Ceramic material systems: in architecture and interior design. Basel: Birkhäuser, 2015. ISBN 978-3-03821-024-5

BOCH, Phillipe; NIÈPCE, Jean-Claude, ed. lit.

Ceramic Materials: processes, properties and applications. London: ISTE, 2007. ISBN 978-1-905209-23-1

BURRY, Mark

Between intuition and process: parametric design and rapid prototyping. In KOLAREVIC, Branko, ed. lit. – **Architecture in the digital age: design and manufacturing.** New York: Taylor & Francis, 2003, p. 148-162. ISBN 0-415-38141-X

CALLISTER, Jr, William D.

Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. ISBN 85-216-1288-5

CARTER, C. Barry; NORTON, M. Grant

Ceramic materials: science and engineering. New York: Springer Publishing, 2007. ISBN 978-0-387-46270-7

MENGES, Achim

Instrumental geometry. In CORSER, Robert, ed. lit. – **Fabricating architecture: selected readings in digital design and manufacturing.** New York: Princeton Architectural Press, 2010, p. 22-41. ISBN 978-1-56898-889-4

DEPLAZES, Andrea, ed. lit.

Constructing architecture: materials processes structures: a handbook. Basel: Birkhäuser, 2005. ISBN 978-3-7643-7313-9

HERZOG, Thomas; KRIPPNER, Roland; LANG, Werner

Façade construction manual. Basel: Birkhäuser, 2004. ISBN 3-7643-7109-9

IWAMOTO, Lisa

Digital fabrications: architectural and material technique. New York: Princeton Architectural Press, 2009. ISBN 978-1-56898-790-3

KINGERY, W.D.; BOWEN, H.K.; UHLMANN, D.R.

Introduction to ceramics. 2ª ed. [s.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 1976 ISBN 0-471-47860-1

KOLAREVIC, Branko, ed. lit.

Architecture in the digital age: design and manufacturing. New York: Taylor & Francis, 2003. ISBN 0-415-38141-X

LE CORBUSIER

Por uma arquitetura. Trad. Ubirajara Rebouças. 6ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2006. ISBN 85-273-0142-3

LEE, Kunwoo

Principles of CAD/CAM/CAE systems. [s.l.]: Addison-Wesley, 1999. ISBN 0-201-38036-6

LEMMEN, Hans Van

Azulejos na arquitectura. Trad. Paula Reis. Lisboa: Caminho, 1994. ISBN 972-21-0906-5

5000 years of tiles. Washington, DC: Smithsonian Books, 2013. ISBN 978-1-58834-398-7

LOUREIRO, José Carlos

O azulejo: possibilidades da sua reintegração na arquitectura portuguesa. 2ª ed. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2012. ISBN 978-989-658-168-8

MECO, José

Azulejaria portuguesa. 3ª ed. Lisboa: Bertrand Editora, 1985. ISBN 972-25-0054-6

O azulejo em Portugal. Lisboa: Alfa, 1989.

MITCHELL, William J.; MCCULLOUGH, Malcolm

Digital design media. 2ª ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. ISBN 0-471-28666-4

MUCCI, Alfredo

A arte do mosaico: compêndio histórico-técnico da arte musiva. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1962.

MURRAY, Scott

Contemporary curtain wall architecture. New York: Princeton Architectural Press, 2009. ISBN 978-1-56898-797-2

SILVA, Luís Pedro

O módulo cerâmico do Terminal de Cruzeiros de Leixões. In MORAIS, Lurdes; LACERDA, Carlos; VALE, Clara Pimenta do, coord. – **Cerâmica portuguesa: tradição e inovação.** Coimbra: APICER, 2016a, p. 24-32.

Terminal de cruzeiros de Leixões. Lisboa: Uzina Books, 2016b. ISBN 978-989-8456-86-1

PINTO, Luís Manuel de Magalhães Fernandes

Azulejo e arquitectura: ensaio de um arquitecto. Lisboa: Getecno, 1994. ISBN 972-8242-00-X

SANTOS, Reynaldo dos

O azulejo em Portugal. Lisboa: Editorial Sul, 1957.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad

Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. ISBN 978-85-8055-114-3

TÁVORA, Fernando

Da organização do espaço. 8ª ed. Porto: FAUP, 2008. ISBN 978-972-9483-22-6

VELOSO, A. J. Barros; ALMASQUÉ, Isabel

Azulejaria de exterior em Portugal. [s.l.]: Inapa, 1991. ISBN 972-9019-38-X

ZEID, Ibrahim; SIVASUBRAMANIAN, S.

CAD/CAM: theory and practice. 2ª ed. New Delhi: Tata McGraw Hill, 2009. ISBN 978-0-07-015134-5

ZUMTHOR, Peter

Thinking architecture. Basel: Birkhäuser, 1999. ISBN 3-7643-6101-8

Trabalhos académicos

ALVES, Tiago Vieira de Castro

Ferramentas CAD/CAM e a arquitetura digital. Porto: FAUP, 2013. 176 p. Dissertação de mestrado em Arquitetura.

AZEVEDO, João Vitor Pereira

(Re)Pensar o uso do tijolo em Arquitectura através de Fabricação Digital. Porto: FAUP, 2014. 95 p. Dissertação de mestrado integrado em Arquitetura.

CARVALHO, João António Nogueira

Cerâmica 3D: Sistemas digitais para a personalização do desenho e fabrico de componentes arquitetónicos. Guimarães: UMinho, 2018. 149 p. Dissertação de mestrado em Arquitetura.

CUNHA, Márcio Manuel Ferreira da

Desenvolvimento de um sistema construtivo para fachadas ventiladas. Porto: FEUP, 2006. 174 p. Dissertação de mestrado em Construção de Edifícios.

FREITAS, Isabel Maria Marrana Alves de

Terminal de Cruzeiros da APDL no Porto de Leixões: estudo de caso na perspectiva da empresa construtora. Porto: FEUP, 2014. 144 p. Dissertação de mestrado em Eng.ª Civil.

MORAIS, Ana Isabel Barbosa

Soluções de reabilitação de fachadas com revestimento em ladrilhos cerâmicos. Porto: FEUP, 2007. 150 p. Dissertação de mestrado em Reabilitação do Património Edificado.

OLIVEIRA, Manuel António de Carvalho

Arquitetura e personalização: o impacto das tecnologias CAD/CAM. Porto: FAUP, 2014. 119 p. Dissertação de mestrado em Arquitetura.

OLIVEIRA, Rui Miguel dos Santos

Possibilidades de desenho e construção digital em tijolo a partir da obra de Raúl Hestnes Ferreira. Porto: FAUP, 2015. 119 p. Dissertação de mestrado em Arquitetura.

SÁ, Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira e

Durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas. Porto: FEUP, 2005. 148 p. Dissertação de mestrado em Construção de Edifícios.

SANTOS, Hugo Miguel Aguiar dos

Azulejo não é crime!. Coimbra: d'Arq FCTUC, 2009. 166 p. Prova final para Licenciatura em Arquitetura.

SOUSA, Lígia Fernanda Martins de

Cerâmica, material tradicional e inovador na arquitectura. Porto: FAUP, 2008. 197 p. Prova final para Licenciatura em Arquitetura.

Artigos

AGKATHIDIS, Asterios; GUTIÉRREZ, Rosa Urbano

Incorporating Digital Tools with Ceramic Crafting: Design and Fabrication of Light Diffusing Screen Shells. **Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures.** 57: 189 (2016) p. 209-2017.

BECHTHOLD, Martin

Ceramic Prototypes. Design, Computation, and Digital Fabrication. **Informes de la Construcción.** 68: 544 (2016) p. 91-102. ISSN 0020-0883

BERKER, Olgu Sümengen

Architecture and ceramics. **Procedia: social and behavioral sciences.** 191 (2015) p. 291-295. ISSN 1877-0428.

COSTA, Pedro Campos

Extensão do Oceanário de Lisboa. **Arq'a.** 105 (2013) p. 90-99. ISSN 1647-077X

GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias

Digital materiality in architecture. **Space.** 537 (2012) p. 100-107.

GRIMMER, Anne E.; KONRAD, Kimberly A.

Preserving historic ceramic tile floors. **Preservation briefs.** 40 (1996) p. 2-16. ISSN 0885-7016.

GUTIÉRREZ, Rosa Urbano; WANNER, Amanda

Innovations in the production of ceramic luminous environments: Where craftsman meets computer. **Informes de la Construcción.** 68: 544 (2016) p. 103-116. ISSN 0020-0883

KHOSHNEVIS, Behrokh *et al.*

Mega-scale fabrication by contour crafting. **International Journal of Industrial and Systems Engineering.** 1: 3 (2006) p. 301-320. ISSN 1748-5037

RUIZ-GELI, Enric

Villa Nurbs e Empuriabrava, Gerona. **Arquitectura Viva – Cerámica 2010.** Edição especial (2010) p. 36-39. ISSN 0213-487X

SILVESTRE, José Dinis; BRITO, Jorge de

Juntas em Revestimentos Cerâmicos Aderentes (RCA): da concepção à manutenção. **Revista Engenharia Civil.** 35 (2009) p. 75-92. ISSN 0873-1152

SOUSA, José Pedro

Tectónica digital: (re)inventando a materialidade. **Arquitectura e Vida.** 63 (2005) p. 32-36.

Catálogos

AL_A

MAAT: facade summary. London: AL_A.

[Documento em pdf cedido ao autor pelo Arquiteto Maximiliano Arrocet, em 11.12.2018]

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AZULEJOS Y PAVIMENTOS CERÁMICOS

La geometria en la cerámica. Madrid: ASCER, 2010. Catálogo de exposição.

BECHTHOLD, Martin *et al*.

Ceramic Morphologies: precision and control in paste-based additive manufacturing. In **Recalibration: on imprecision and infidelity: 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture.** Mexico City: Universidad Iberoamericana, 2018, p. 350-357. Catálogo de conferência.

BONWETSCH, Tobias *et al.*

The Informed Wall: applying additive digital fabrication techniques on architecture. In **Synthetic Landscapes: Proceedings of the 25th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture.** Louisville: University of Kentucky, 2006, p. 489-495. Catálogo de conferência.

CELENTO, David; HARROW, Del

CeramiSKIN: digital possibilities for ceramic cladding systems. In **Silicon + Skin: biological processes and computation: Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture.** Minneapolis: University of Minnesota, 2008, p. 292-299. Catálogo de conferência.

KOLAREVIC, Branko

Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. In **Architectural Information Management: 19th eCAADe Conference Proceedings.** Helsinki: Helsinki University of Technology, 2001, p. 117-123. Catálogo de conferência.

LEMMEN, Hans Van

Azulejos de Egipto y Persia hasta el Barroco. In CAMPS, Josep Pérez; POLES, Vicent Estall i, coord. – **El azulejo, evolución técnica: del taller a la fábrica.** Castellón: Museo del Azulejo "Manolo Safont", 2008, p. 13-25. ISBN 978-84-612-4828-5. Catálogo de conferência.

MALLEGOL, Ludovic

Seamless Variation: parametric design for porcelain. [s.l.]: Robot Faber, 2018.

PAIS, Alexandre Nobre; MONTEIRO, João Pedro; HENRIQUES, Paulo

A Arte do Azulejo em Portugal. [em linha] Lisboa: Instituto Camões, 2002. Catálogo de exposição.

RASPALL, Felix; AMTSBERG, Felix; TRUMMER, Andreas

Digital-material feedback in architectural design. In **Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture: Proceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia.** Daegu: Kyungpook National University, 2015, p. 631-640. Catálogo de conferência.

SILVA, Luís Pedro *et al*.

Terminal de cruzeiros de Leixões: arquitectura e engenharia portuária. In **3as jornadas de hidráulica, recursos hídricos e ambiente.** Porto: FEUP, 2008, p. 1-24. ISBN 989-978-95557-2-3. Catálogo de conferência.

STREHLKE, Kai

Digital technologies, methods, and tools in support of architectural development at Herzog & de Meuron. In **reForm (): building a better tomorrow: Proceedings of the 29th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture.** Chicago: The School of the Art Insitute of Chicago, 2009, p. 26-29. Catálogo de conferência.

Páginas da Web

AL_A

MAAT: Lisbon, Portugal [em linha]. London: AL_A, 19.03.2017. <URL:tinyurl.com/maatALA> [Acedido 29.08.2019]

BECHTHOLD, M.; ASENSIO-VILLORIA, L.

Extruded tessellation: ceramic tectonics [em linha]. Cambridge: Harvard GSD, 02.02.2016. <URL:tinyurl.com/Cevisama> [Acedido 10.07.2019]

DISSET

Ampliación del Oceanario de Lisboa 2012 [em linha]. Barcelona: Disset, 21.09.2012. <URL:tinyurl.com/disset2012> [Acedido 25.08.2019]

EMERGING OBJECTS

Seed Stitch [em linha]. San Francisco: Emerging Objects, 12.05.2016. <URL:tinyurl.com/SStitchWal2> [Acedido 10.07.2019]

ISERN, Daniel

Ohla Hotel Eixample, Barcelona [em linha]. Barcelona: Isern Associats, 06.05.2017. <URL:tinyurl.com/HEixample> [Acedido 10.07.2019]

KOTELOVA, Rossitza et al.

Robotic Surface Manipulation [em linha]. Barcelona: Reshape Digital Craft, 2014. <URL:tinyurl.com/RoRipple3> [Acedido 21.08.2019]

RICCARDELLI, Carolyn

Egyptian Faience: technology and production. In **Heilbrunn Timeline of Art History.** New York: The Metropolitan Museum of Art, 21.12.2017. <URL:https://tinyurl.com/EgFaMET> [Acedido 23.04.2019]. Artigo em linha.

SALEMA, Isabel

Amanda Levete: "A época dos edifícios icónicos está a passar" [em linha]. Lisboa: Público, 12.10.2016. <URL: tinyurl.com/AmLevete> [Acedido 29.08.2019]. Artigo em linha.

SIKA

900.000 azulejos para um novo terminal de cruzeiros [em linha]. Gaia: Sika Portugal SA, 14.07.2017. <URL:tinyurl.com/SikaPSA > [Acedido 06.11.2018]

SILVA, Luís Pedro

Leixões Cruise Terminal/Luís Pedro Silva Arquitecto [em linha]. [s.l.]: ArchDaily, 05.01.2016c. <URL:https://tinyurl.com/LPSilva> [Acedido 20.12.2018]. Artigo em linha.

Entrevistas

COSTA, Pedro Campos

A cerâmica na Extensão do Oceanário de Lisboa. Entrevista realizada pelo autor ao Arquiteto Pedro Campos Costa. Lisboa, 24 de outubro de 2018. [A entrevista encontra-se transcrita no Anexo 2 desta dissertação]

SILVA, Luís Pedro

A cerâmica no Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões. Entrevista realizada pelo autor ao Arquiteto Luís Pedro Silva. Porto, 18 de outubro de 2018. [A entrevista encontra-se transcrita no Anexo 1 desta dissertação]

Visitas

Pavigrés Cerâmicas SA

Visita realizada pelo autor, orientada pelo Engenheiro Miguel Albuquerque. Anadia, 18.02.2019

Fábrica de Porcelana da Vista Alegre

Visita realizada pelo autor, orientada pelo Engenheiro Sousa Bastos. Ílhavo, 26.07.2019

CRÉDITOS DE FIGURAS

Fig. 1 - [imagem do autor]
[imagem do autor]
[imagem do autor]

Fig. 2 - Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:https://goo.gl/zDkFrD> [Acedido 24.01.2019]
Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:https://goo.gl/jv86kc/> [Acedido 24.01.2019]
Fotografia de Hufton+Crow. <URL:https://goo.gl/DAjYqt> [Acedido 24.01.2019]

Fig. 3 - Fotografia de G. Dagli Orti. <URL: https://goo.gl/9kGLJs > [Acedido 31.10.2018]
Fotografia do Museu Metropolitano de Arte de Nova Iorque. <URL:https://goo.gl/d7evvd> [Acedido 31.10.2018]

Fig. 4 - Fotografia de Radomir Vrbovsky. <URL:https://goo.gl/83zkZL> [Acedido 25.11.2018]
Fotografia de Mina Bulic. <URL:https://goo.gl/MX9gZc> [Acedido 25.11.2018]

Fig. 5 - Fotografia do Museu Metropolitano de Arte de Nova Iorque. <URL:https://goo.gl/j9YDvt> [Acedido 25.11.2018]

Fig. 6 - Fotografia de Tishineh. <URL:https://goo.gl/Fooiu3> [Acedido 25.11.2018]

Fig. 7 - Fotografia de Gema de la Fuente. <URL:https://goo.gl/ArAAvy> [Acedido 26.11.2018]
Fotografia de Jebulon. <URL:https://goo.gl/cmo67r> [Acedido 26.11.2018]
Fotografia de Andbog. <URL:https://goo.gl/hd3y9r> [Acedido 26.11.2018]
Fotografia de Michael Clarke Stuff. <URL:https://goo.gl/hfDSyA> [Acedido 26.11.2018]

Fig. 8 - Fotografia de Richard Stracke. <URL:https://goo.gl/ejPxKW> [Acedido 26.11.2018]
Fotografia de Sailko. <URL:https://goo.gl/u6C4TC> [Acedido 26.11.2018]

Fig. 9 - Fotografia de V&A Museum. <URL:https://tinyurl.com/PrintTileM> [Acedido 26.04.2019]

Fig. 10 - Fotografia de Tomas Ledl. <URL:https://goo.gl/NH9d3n> [Acedido 26.11.2018]
[fotografia do autor]

Fig. 11 - Fotografia de Cristina Pardal. <URL:https://goo.gl/Ko77Lz> [Acedido 24.01.2019]
Fotografia de Inigo Bujedo Aguirre. <URL:https://goo.gl/vj3W5u> [Acedido 24.01.2019]

Fig. 12 - Fotografia de Agrob Buchtal. <URL:https://goo.gl/rbkbLv> [Acedido 24.01.2019]

Fig. 13 - Fotografia de Mário Novais. (Meco, 1985: 12)
Fotografia de Marlise Montello. <URL:https://goo.gl/UXrpai> [Acedido 24.01.2019]

Fig. 14 - [fotografia do autor]
[fotografia do autor]

Fig. 15 - Fotografia do Museu de Lisboa. <URL:https://goo.gl/dQ1qtM> [Acedido 24.01.2019]

[fotografia do autor]

Fig. 16 - [fotografia do autor]

[fotografia do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 17 - [fotografia do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 18 - [fotografia do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 19 - [imagem do autor]

Imagem adaptada de Innovacera. <URL:https://goo.gl/fmNEcy> [Acedido 11.03.2019]

Fig. 20 - [imagem do autor]

Fig. 21 - [quadro do autor]

Fig. 22 - Imagem esquemática de APICER (2003: 21)

Imagem esquemática de APICER (2003: 23)

Fig. 23 - Imagem esquemática adaptada de Boch *et al.* (2007: 167)

[fotografia do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 24 - Fotografia de Ceràmica Cumella. (Bechthold *et al.*, 2015: 156)

Fig. 25 - Imagem esquemática adaptada de Boch *et al.* (2007: 169)

[fotografia do autor]

Fig. 26 - Imagem esquemática adaptada de Boch *et al.* (2007: 178)

Fotografia capturada de vídeo. <URL:https://goo.gl/8jsm8G> [Acedido 28.03.2019]

Fig. 27 - Imagem esquemática adaptada de Boch *et al.* (2007: 148)

Fotografia de Data Clay. <URL:https://goo.gl/GXkb6B> [Acedido 28.03.2019]

Fig. 28 - Fotografia de Ceràmica Cumella. (Bechthold *et al.*, 2015: 32)

Fotografia de Ceràmica Cumella. (Bechthold *et al.*, 2015: 151)

Fig. 29 - [fotografia do autor]

[fotografia do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 30 - Quadro adaptado de APICER (2003: 19)

Fig. 31 - Quadro adaptado de APICER (2003: 20)

Fig. 32 - Imagem esquemática de APICER (2000: 50)

Fig. 33 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 34 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 35 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 36 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 37 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 38 - Quadro adaptado de APICER (2003: 136)

Fig. 39 - Imagem de Sistema Masa. <URL:tinyurl.com/AncPontual1> [Acedido 04.08.2019]
Imagem de Sistema Masa. <URL:tinyurl.com/AncPontual2> [Acedido 04.08.2019]
Imagem de Sistema Masa. <URL:tinyurl.com/AncPontual3> [Acedido 04.08.2019]

Fig. 40 - [imagem do autor]
[imagem do autor]

Fig. 41 - Imagem de APICER (2003: 156)

Fig. 42 - Imagem de APICER (2003: 156)
Imagem de APICER (2003: 156)

Fig. 43 - Imagem esquemática adaptada de Herzog *et al.* (2004: 33)

Fig. 44 - [imagem do autor]

Fig. 45 - [imagem do autor]

Fig. 46 - [fotografia do autor]
[fotografia do autor]

Fig. 47 - Quadro adaptado de APICER (2003: 201)

Fig. 48 - Imagem de One to One. <URL:https://tinyurl.com/AcoustWa2lHM> [Acedido 11.07.2019]
Imagem de One to One. <URL:https://tinyurl.com/AcoustWal3HM> [Acedido 11.07.2019]
Fotografia de Ben Koren. <URL:https://tinyurl.com/AcoustPane1> [Acedido 11.07.2019]

Fig. 49 - [imagem do autor]
[imagem do autor]

Fig. 50 - Gráfico adaptado de Zeid (2009: 15)
Gráfico adaptado de Zeid (2009: 16)

Fig. 51 - [quadro do autor]

Fig. 52 - Imagem esquemática de Kolarevic (2003: 35)
Imagem esquemática de Kolarevic (2003: 35)

Fig. 53 - Fotografia de DigiFabLab. <URL:tinyurl.com/PenroseSc1> [Acedido 15.07.2019]
Fotografia de DigiFabLab. <URL:tinyurl.com/PenroseSc2> [Acedido 15.07.2019]
Fotografia de DigiFabLab. <URL:tinyurl.com/PenroseSc3> [Acedido 15.07.2019]

Fig. 54 - Fotografia capturada de vídeo. <URL:tinyurl.com/WatJCutC> [Acedido 15.07.2019]

Fig. 55 - Fotografia de José Pedro Sousa. <URL:tinyurl.com/DFLHotwire> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 56 - Imagem de GSD-MaP+S. <URL:tinyurl.com/ExtTesse3> [Acedido 16.07.2019]
Imagem de GSD-MaP+S. <URL:tinyurl.com/ExtTessel> [Acedido 16.07.2019]
Fotografia de GSD-MaP+S. <URL:tinyurl.com/ExtTesse1> [Acedido 16.07.2019]

Fig. 57 - Imagem de Ludovic Mallegol. <URL:tinyurl.com/SeamVar> [Acedido 17.08.2019]
Fotografia capturada de vídeo. <URL:tinyurl.com/SeamVar1> [Acedido 17.08.2019]

Fig. 58 - Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:tinyurl.com/VillaNURBS1> [Acedido 17.08.2019]
Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:tinyurl.com/VillaNURBS2> [Acedido 17.08.2019]

Fig. 59 - Fotografia de DigiFabLab. <URL:tinyurl.com/LilyPetal1> [Acedido 17.08.2019]
Fotografia de DigiFabLab. <URL:tinyurl.com/LilyPetal2> [Acedido 17.08.2019]

Fig. 60 - Fotografia capturada de vídeo. <URL:tinyurl.com/OhlaHotel> [Acedido 17.08.2019]
Fotografia capturada de vídeo. <URL:tinyurl.com/OhlaHotel> [Acedido 17.08.2019]
Fotografia capturada de vídeo. <URL:tinyurl.com/OhlaHotel> [Acedido 17.08.2019]

Fig. 61 - Imagem esquemática adaptada de Bonwetsch *et al.* (2006: 491)

Fig. 62 - [quadro do autor]

Fig. 63 - Fotografia de Olivier van Herpt. <URL:tinyurl.com/OVH3d> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 64 - Fotografia de GSD-MaP+S. <URL:tinyurl.com/CMorph1> [Acedido 19.08.2019]
Fotografia de GSD-MaP+S. <URL:tinyurl.com/CMorph2> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 65 - Fotografia capturada de vídeo. <URL:tinyurl.com/SStitchWall> [Acedido 19.08.2019]
Fotografia de Emerging Objects. <URL:tinyurl.com/SStitchWal1> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 66 - Fotografia de FormLabs. <URL:tinyurl.com/SterLA> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 67 - Fotografia de Amfas. <URL:tinyurl.com/SLSinter1> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 68 - [fotografia do autor]

Fig. 69 - Fotografia de Frankie Flood. <URL:tinyurl.com/P3DPrin1> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 70 - Fotografia de Gutiérrez *et al*. (2016: 114)
Fotografia de Gutiérrez *et al.* (2016: 114)

Fig. 71 - Fotografia de Contour Crafting. <URL:tinyurl.com/ContCraft> [Acedido 19.08.2019]

Fig. 72 - Fotografia de Felix Raspall. (Bechthold *et al.*,2015 : 205)
Fotografia de Felix Raspall. (Bechthold *et al*.,2015 : 205)
Fotografia de Felix Raspall *et al.* (2015: 638)
Fig. 73 - Fotografia de Rossitza Kotelova. <URL:tinyurl.com/RoRipples> [Acedido 21.08.2019]
Fotografia de Rossitza Kotelova. <URL:tinyurl.com/RoRipple2> [Acedido 21.08.2019]
Fig. 74 - Fotografia de Bechthold (2016: 94)
Fotografia de Bechthold (2016: 94)
Fig. 75 - [fotografia do autor]
Fig. 76 - [fotografia do autor]
[fotografia do autor]
Fig. 77 - [imagem esquemática do autor]
Fig. 78 - Esquiço do Arquiteto Luís Pedro Silva, exclusivamente cedido ao autor.
Fig. 79 - Fotografia de Pedro de Pedra. (Silva, 2016b: 114)
Fig. 80 - Fotografia de Sika Portugal SA. <URL:tinyurl.com/SikaPSAf> [Acedido 22.08.2019]
[fotografia do autor]
Fig. 81 - Esquiço do Arquiteto Luís Pedro Silva. (Silva, 2016a: 28-29)
Fig. 82 - Fotografia de Pedro de Pedra. (Silva, 2016b: 114)
Fotografia de Pedro de Pedra. (Silva, 2016b: 114)
Fig. 83 - [fotografia do autor]
Fig. 84 - [imagem do autor]
Fig. 85 - Fotografia de Eduardo Rodrigues.
Fig. 86 - [fotografia do autor]
Fotografia de Radek Brunecky. <URL:tinyurl.com/AqLisbRB> [Acedido 25.08.2019]
Fig. 87 - [fotografia do autor]
Fig. 88 - [fotografia do autor]
Fig. 89 - [fotografia do autor]
[fotografia do autor]
Fig. 90 - [imagem esquemática do autor]
Fig. 91 - Fotografia de Disset. <URL:tinyurl.com/TectonicaAq> [Acedido 25.08.2019]
Fig. 92 - Imagem esquemática da Disset, cedida ao autor pelo Arquiteto Pedro Campos Costa.
Fig. 93 - Imagem esquemática da Disset, cedida ao autor pelo Arquiteto Pedro Campos Costa.

Fig. 94 - [fotografia do autor]

Fig. 95 - Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:tinyurl.com/CumellaOc1> [Acedido 27.08.2019]

Fig. 96 - Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:tinyurl.com/CumellaOc2> [Acedido 27.08.2019]

Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:tinyurl.com/CumellaOc3> [Acedido 27.08.2019]

Fig. 97 - Fotografia de Ceràmica Cumella. <URL:tinyurl.com/CumellaOc4> [Acedido 27.08.2019]

[fotografia do autor]

Fig. 98 - [fotografia do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 99 - [fotografia do autor]

Fig. 100 - Fotografia de AL_A. <URL:tinyurl.com/MAATuk1> [Acedido 29.08.2019]

Fig. 101 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 102 - Imagem esquemática de AL_A (2018: 4)

Fig. 103 - [fotografia do autor]

Fig. 104 - [fotografia do autor]

Fig. 105 - [fotografia do autor]

Fig. 106 - Fotografia de Claudi de José Gomar. <URL:tinyurl.com/MAATuk2> [Acedido 11.11.2018]

Fotografia de Claudi de José Gomar. <URL:tinyurl.com/MAATuk4> [Acedido 11.11.2018]

Fig. 107 - Fotografia de Ceràmica Cumella. (AL_A, 2018: 8)

Fig. 108 - Fotografia de Ceràmica Cumella. (AL_A, 2018: 6)

Fig. 109 - Fotografia de Ceràmica Cumella. (AL_A, 2018: 7)

Fig. 110 - Fotografia de Ceràmica Cumella. (AL_A, 2018: 15)

Fotografia de Ceràmica Cumella. (AL_A, 2018: 16)

Fig. 111 - [quadro do autor]

Fig. 112 - [imagem do autor]

Fig. 113 - [imagem do autor]

Fig. 114 - [imagem do autor]

Fig. 115 - [imagem do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 116 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 117 - [imagem do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 118 - [imagem esquemática do autor]

Fig. 119 - [imagem do autor]

[fotografia do autor]

Fig. 120 - [imagem esquemática do autor]

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista ao Arquiteto Luís Pedro Silva

A Cerâmica no Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões

RB: No Terminal de Cruzeiros, o arquiteto usou um módulo cerâmico hexagonal, que, citando as suas palavras, "não se confunde com o poderoso círculo, como o octógono" e "é também mais disponível do que o quadrado", embora esta seja apenas uma de muitas outras formas possíveis para superfícies curvas. A ideia do hexágono esteve sempre presente desde a escolha do material ou surgiu após uma exploração intensiva de outras formas (em 3D)?

LPS: Surgiu justamente após uma escolha de um padrão – um módulo – que num entendimento um pouco ignorante resultasse menos preso à geometria irregular das superfícies onde as peças iriam ser aplicadas. Eu tinha muito receio da irregularidade não se coadunar com uma forma exata e pensei que quanto mais faces tivesse, melhor. E havia também um problema, que depois vim a perceber que não era grande problema, que era a procura de que esse módulo jogasse bem com a superfície empenada das paredes e portanto andei a estudar a subdivisão dessas formas complexas em triangulações. O hexágono também é apenas a composição do triângulo.

RB: Que características procurou na peça cerâmica?

LPS: Em termos de cor, acho que é uma tradição [usar o branco], que não considero muito inteligente, mas é aquela que creio que hoje abunda mais no ensino e depois na prática. O edifício surgiu previamente à consciência da sua definição construtiva. Portanto, nós tínhamos uma forma genérica que não tinha acabamento a não ser no corpo. Ele era todo branco, nos primeiros tempos, e começou no fundo a institucionalizar-se na nossa equipa, nos nossos colaboradores e em toda a gente, a ideia de que ele era branco. Esse material não foi de todo a primeira escolha, foi a décima. Em relação à cor, caso tivéssemos convicção na durabilidade e na menor manutenção possível caso fosse outra cor, talvez ela se tivesse imposto. A partir do momento em que tínhamos o material, pudemos escolher a cor e não traímos os desenhos iniciais. Depois, a afinação foi muito demorada.

RB: Inspirou-se ou estudou alguma referência para a escolha do material?

LPS: Como referência do material, há uma obra que é emblemática, que é a Ópera de Sydney. Está justamente numa área muito exposta pela baía, num ambiente marítimo tão violento. Quando descobri que havia superfície branca semelhante àquela que nós tínhamos – o edifício de todo não tem muito a ver, pelo menos nunca tinha olhado bem para a obra da ópera, a não ser nesse momento em que andámos a fazer uma prospecção, a ver o que ornamentava os edifícios em situação marítima. Foi o fator decisivo, ver que havia uma coisa tão banal e tão próxima da nossa tradição. E, portanto, se há alguma referência foi essa.

RB: Quem visita a obra tem a "urgência" de tocar nas peças. De certa forma, somos atraídos para ela, o que acontece ao longe, dada a forma envolvente da volumetria, mas também ao perto, quando vemos e sentimos efetivamente as dimensões humanas do revestimento, dado que a peça tem aproximadamente um palmo de diâmetro. Como surgiu esta dimensão? Como avalia a reação das pessoas a esta opção de projeto?

LPS: Foi muito consciente a medida, tem a ver com uma série de questões que foram ganhando muita força num conhecimento que tenho do que eu chamo organização do espaço, na relação do corpo com o espaço. Há uma obra de referência chamada "O Gesto e a Palavra", que mostra esta ideia da exsudação do corpo, dos objetos, como o que está na mão [caneta] que é o prolongamento dos dedos. Depois há outra coisa: entretanto entrámos numa época em que as obras e objetos deixaram de ter essa relação direta com o corpo a partir do momento em que temos intermediários para fazer o transporte, para fazer a aplicação, para fazer a elevação de coisas muito grandes, que durante muitos anos não houve. Há exceções notáveis como a pirâmide em Gizé, que não tem muito a ver com essa relação, foi um sacrifício completamente excecional dos seres humanos para a fazerem. Mas normalmente as coisas são feitas nessa relação, eu posso pegar e aplicar. Essa questão [para a obra] foi muito importante e moveu muito; ainda pensei a certa altura que iria necessitar de umas juntas de retração, isto é, fazer uma agregação de módulos, porque a forma é tao complexa que não há uma junta de dilatação no edifício e, como não há, ele presta-se a coisas muito estranhas, de facto, há já alguma fissuração. E eu pensei, até porque estava aconselhado, que o melhor era ter o módulo, agregações de módulo e a superfície completa.

Em relação à segunda pergunta, eu não tenho que avaliar, eu só reparo, constato e é das coisas mais bonitas, quando nós pensamos numa coisa, apenas porque é, mas depois ela tem um efeito de ter uma outra extensão que é tocar o corpo das pessoas. Quando as pessoas tocam numa coisa que desenhámos é porque há ali uma empatia, há um diálogo. Mas pronto, isto é consciente e é muitíssimo bom. Acho que a arquitetura consubstancia-se nesta relação muito empírica. Ela é bastante pensada, é muitíssimo elaborada, mas depois se não se resolver nesta relação de "sinto-me bem ou não me sinto bem", faz pouquíssimo sentido. E tocar as pessoas quase no lado mais imediato e mais espontâneo é um dom do edifício.

RB: O arquiteto refere 6 peças cerâmicas diferentes, embora uma seja a que aparece em maior quantidade. Pode descrever-me as outras peças e onde se encontram?

LPS: [Respondendo através de esquissos] há o hexágono tridimensional, há o plano, a peça retangular de compensação, tens uma de ângulo que tem abas desiguais, uma caleira e uma caleira invertida para barrar a água.

RB: Por que razão optou por usar somente um módulo, colocado de forma ordenada, mas a parecer aleatória, parecendo até que as peças têm diferentes dimensões, e não usar módulos diferentes? Foi uma intenção de projeto ou um ajuste resultante de limitações (técnicas, económicas...)? Se for o segundo caso, se tivesse a oportunidade de desenhar e materializar as peças de modo totalmente personalizado tê-lo-ia explorado?

LPS: Esse módulo único permitiu 12 posições diferentes, eu acho que já chega. E depois há uma coisa muito importante que é, com uma forma tão variada, procurámos que não houvesse um

cantinho igual a outro; sente-se isso quando acompanhamos uma visita de alguém que não conheceu o edifício, está sempre numa permanente descoberta e redescoberta, e é outra das coisas que me agrada muito. Nós quando desenvolvemos um projeto assim, não temos essa consciência, precisamos de ver no outro a reação àquilo que fazemos, para o mal e para o bem. Quando faço uma visita com outras pessoas, vejo que há isso, que o edifício tem essa cambiante muito grande. Ora, tem que manter um certo conjunto de características que nessa diversidade toda não variam. E, portanto, se nós verificarmos a variação formal, ela é já de tal modo grande que tem que manter uma espécie de personalidade mais uniforme. Acho que se conseguiu o equilíbrio entre a variação permanente e perceber que isto faz parte do mesmo edifício que temos do outro lado.

RB: Em relação ao processo de fabrico da peça, ela foi produzida na Vista Alegre, uma fábrica que não tem por norma conceber azulejos. A escolha da fábrica teve alguma influência na conceção da peça? Como é que a peça foi produzida? Realizaram-se protótipos? Recorreram a alguma tecnologia digital?

LPS: Nenhuma. A escolha da fábrica foi um processo que nem tinha que ser do arquiteto. Eu tinha toda a gente contra o uso do cerâmico, durante um certo momento, a começar no empreiteiro, que estava muito apreensivo com o trabalho que ia ter como se não soubesse a obra para a qual concorreu. Ele fez tudo para não encontrar condições para executar. E, a certa altura, conseguiu ir adiando, porque fomos tendo várias hipóteses de produtor e as hipóteses foram sendo eliminadas, não por inépcia de negociação, mas por vontade de comodismo de negociação. As peças finais, com a qualidade que queríamos, demoraram 9 meses, e portanto era sempre uma chatice ver um fabricante dispor-se 9 meses aos ensaios com o arquiteto, o arquiteto disponibilizar-se o mesmo período para começar do zero com outra empresa, principalmente quando se lhe apresentava já durante a construção, pois a primeiro empresa a que recorremos não gerou capacidade para o empreiteiro aplicar. Nós fomos para a Marinha Grande, já íamos para outro material, quando nos indicaram Ílhavo, onde estavam produtores de cerâmica. Mas porque não? E correu bem dessa vez.

Na produção creio que não [recorreram a tecnologia digital]. Nós fizemos vários ensaios, de modo muito arcaico, em 3D. As coisas iam muito maturadas. Normalmente, podendo, não há aqui passo nenhum que não seja aferido, numa aproximação mais detalhada à realidade futura. O processo foi com enchimento e moldagem. Houve várias hipóteses anteriores, experimentámos muita coisa, uma delas mais ligada à tecnologia da louça sanitária.

RB: Na representação do projeto e, em particular, na conceção e descrição do sistema de revestimento, qual foi o papel do computador?

LPS: O computador é um companheiro em todas as áreas, que é tao mau quanto bom. Ou seja, se nós não lidarmos bem com ele, só nos desvia do essencial. Parece que vai resultar tudo e não. Mas se for bem orientado, ele aproxima-nos muito da realidade, que é esse o objetivo. O projeto é em si

mesmo uma construção de técnica que antecipa a realidade e o computador é só mais uma ferramenta entre muitas outras.

RB: Vê como uma oportunidade, ou ameaça, para a indústria a emergência das novas tecnologias de fabricação digital como a fresagem por CNC ou a impressão 3D? Quando refiro indústria, refiro-me não só ao setor produtivo (fábricas), mas também os arquitetos e a sua capacidade de imaginar e projetar.

LPS: Não a vejo como uma ameaça. Se tivermos uma visão transversal na história, ela está sempre cheia de ameaças, porque põe em causa todo o processo anterior. O estirador e a régua foram uma ameaça para o desenhar à mão. O próprio projeto foi uma ameaça para os que faziam tudo com a mão. O computador veio só criar mais oportunidades. Agora, aquilo que para mim é uma ameaça é que nós temos crescentemente condições de transformar o meio e temos às vezes pouco critério para essa transformação. E há uma outra ameaça que é, se um meio poluente está disponível para todos, poluente porque não é o meio mais indicado, se uma pessoa começa a comprar fio para impressora 3D, que é plástico, mais plástico está a produzir.

RB: Face aos desafios da atualidade (sustentabilidade, eficiência energética,…) e a emergência de novos materiais, como vê o futuro da cerâmica na arquitetura?

LPS: Acho que vejo um futuro muito risonho. Acho que é um novo riquismo desperdiçar algo com tantas provas dadas. O Terminal usou-o com alguma dose de risco, porque não era a prática estarmos a usar a cerâmica e fiquei muito contente por entenderem que a certa altura isto reinventou o azulejo.

RB: Pensa que em Portugal existem condições (económicas, tecnológicas, de visão…) para reforçar a tradição construtiva com este material e projetá-la internacionalmente e para o futuro?

LPS: Claramente. Eu acho que quando saímos do país apercebemo-nos da exuberância que é esta expressão. Na semana passada estive em Lisboa e estava a pensar que ainda assim o Porto é muitíssimo forte comparativamente ao uso do azulejo. Há uma certa erudição em alguns edifícios no sul, religiosos e alguns institucionais, mas a arquitetura civil, mais recorrente e mais anónima, no Porto supera a de Lisboa por rácio, por edifício, na aplicação do azulejo.

Esta entrevista foi realizada presencialmente a 18.10.2018.

Anexo 2. Entrevista ao Arquiteto Pedro Campos Costa

A Cerâmica na Extensão do Oceanário de Lisboa

RB: A relação com o mar é, nesta obra, materializada pelo efeito de "escamas" conseguidas através do material cerâmico. Foi este material a primeira escolha para a obra ou outros materiais de revestimento foram considerados?

PCC: O primeiro material escolhido para a obra foi betão de alta *performance*. Tinha uma fachada-cortina muito interessante, que era toda perfurada, não só a zona do bar. O betão de alta performance tinha para aí uns 10cm de espessura e uns 6 metros de comprimento. Essa ideia morreu por causa do dinheiro, era caríssimo, e para além disso, a sala de exposições temporárias passou a ser uma *black box*. Logo após a apresentação pública tivemos de reformular tudo, sendo que teríamos de manter a fachada-cortina por várias razões, mas principalmente por questões térmicas. O material cerâmico foi a solução escolhida não só por causa dos brilhos e das texturas, mas porque era um bom material para fazer uma fachada-cortina.

O processo foi muito longo. Antes de chegarmos ao material, experimentámos várias localizações para o edifício e acabámos por fazer uma espécie de remate do edifício de suporte, passando a ser mais "íntimo" desse edifício, mas não competindo diretamente com o edifício principal. Foi uma decisão muito difícil, mas urbanamente parece muito mais acertada, porque deixou de ser mais um elemento a ocupar a praça, ficando encaixado no complexo. A solução arquitetónica foi muito no sentido de ser um objeto tridimensionalizável e oblíquo em relação ao existente, mas de ligação, fechado a norte e aberto a sul, este e oeste. Uma frente que passa a ser a cara, a nova entrada do Oceanário. A fachada devido a esta solução urbana tinha que ser suficientemente forte. O material vem também dessa força, dessa figura, que nós queríamos que ela tivesse – ele reforça a presença da fachada.

RB: A maqueta ilustra uma intenção diferente do resultado final – as aberturas aparecem mais espalhadas ao longo da fachada, como que a fazer um degradé. Na obra, as peças abertas ficam encaixadas numa faixa. Em que medida é que o material condicionou o desenho da fachada, dada esta diferença?

PCC: Já tinha respondido a essa questão, mas de facto não foi o material que condicionou a fachada, foi o programa por trás, por exemplo na zona do bar, a fachada é aberta em gelosias. A fachada-cortina funciona muito bem tecnicamente e esta solução apresar de não ter sido calculada, tem resultados incríveis. O Oceanário tem imensa preocupação com a sustentabilidade energética, e com uma fachada-cortina a sul, a cerâmica funciona maravilhosamente bem neste tipo de fachadas. Neste caso, a perfuração permite fazer ensombramento quando o sol está muito alto, de Verão, e, de Inverno, ele entra mais. A restante fachada, quando está fechada, ventila bem no verão e tem ganhos térmicos no inverno. É um sistema passivo, pensado, mas não estudado tecnicamente ao ponto de haver um resultado ou uma fórmula. O me satisfaz muito é que os administradores do Oceanário, quando o apresentam falam dele sempre como um exemplo em termos de eficiência energética, com dados e resultados provados

RB: O arquiteto usou um módulo fechado em forma de escama e um aberto em forma de arco. A ideia da escama esteve sempre presente desde a escolha do material ou surgiu após uma exploração intensiva de outras formas (em 3D)?

PCC: Quanto à questão estética, aquela forma pode ser vista como um peixe ou podia ser vista como uma escama. O Asplund tem uma janela no Tribunal de Sölvesborg que é exatamente assim – não é uma cópia, é uma transformação. Havia, acima de tudo da minha parte, uma grande ansiedade de que aquilo fosse uma espécie de elemento tectónico. As primeiras peças que nós fizemos, havia a intenção de que elas fossem estruturais e formassem uma fachada estrutural. Claro que essa solução foi logo descartada após o primeiro protótipo, não porque não fosse possível, mas porque era mais cara. Então acabámos por fazer uma fachada-cortina muito simples e a parte tectónica e estrutural acabou por se ficar naquela zona onde tem aberturas – a zona do bar. Claro que há ali uma evidente representaçãode escamas, inevitavelmente as pessoas lerão escamas, é de facto um edifício muito Venturiano. Não foi essa a nossa preocupação, mas sim em termos ideológicos, eu considero que os edifícios têm de ser, não basta parecerem. E, portanto, há ali uma espécie de adequação ao programa que se espelha na própria fachada. Mas é importante referir que os materiais não vivem sozinhos. Os materiais são a resposta àquilo que o projeto quer. Não sei muito bem o que aparece primeiro, se o material, se a vontade do projeto, se aparece o espaço. Há aqui uma dificuldade enorme de separar uma coisa da outra. Aquilo que eu acho muito importante é que não é por causa do material que o projeto é bom. O material condiciona, mas não manda, quem manda é o arquiteto.

RB: Inspirou-se ou estudou alguma referência para a escolha deste material e desta forma tão específica?

PCC: Asplund. Se bem que estes arcos aparecem em guardas, em pavimentos, é um padrão muito comum, apesar de, quando fiz a fachada, as pessoas terem ficado muito surpreendidas ao vê-la. Mas é uma forma muito comum e não só na arquitetura de autor, mas no chão, nas guardas, aqui em Lisboa e um bocado por todo o mundo, de Veneza à Polónia, tenho imagens desta forma de quase todo o mundo em diversas situações.

RB: São 7000 as peças fechadas, mais 800 abertas, e são apresentadas em 9 tons de branco. Por que razão optou por 9 tons e não somente 1? Para além da cor, que outras características procurou na peça cerâmica?

PCC: Repara que estes vidrados não são do tipo do nosso Viúva Lamego, são vidrados mais baços, apesar de artesanais. Se nós puséssemos sempre o mesmo tom de branco, o material não iria vibrar tanto. Fizemos também uma inclinação na peça para criar sombra e para ter uma espécie de vibração. Dá uma fachada viva, que muda constantemente, tanto de dia, como ao longo do ano. Eu costumo dizer que este é o projeto mais paisagístico que eu fiz até hoje, porque muda com os elementos naturais, mesmo que seja só percetivelmente.

Aquilo que procurámos na cerâmica, como nós fazemos sempre em todos os nossos projetos, foi experimentar os materiais na relação com o projeto e esticá-los até ao seu potencial máximo. Claro que o limite teria sido fazer a peça de cerâmica tridimensional e estrutural. A peça final reveste uma estrutura, faz o encaixe numa fachada-cortina, mas não é algo extremamente complexo. O meu objetivo era fazer uma fachada autoportante de cerâmica, que é algo totalmente imprevisível para a cerâmica. Seria mesmo o seu limite máximo, sei que é possível. A fachada, na parte do bar, funciona de forma diferente, é como uma grelha e se pressionares, aquilo abana. As peças revestem a estrutura metálica que é portante e têm uns parafusos para a manutenção e para substituição da peça no caso de partir.

RB: E as peças estão colocadas aleatoriamente?

PCC: As peças estão mesmo colocadas aleatoriamente em termos de cor. Nós combinamos com a Cumella para meterem um x número de peças por caixa das 9 cores de branco diferentes e a ordem para serem aplicadas era tirar ao acaso e colocar.

RB: As peças cerâmicas têm mais de 50cm de comprimento, diferindo em largura. Como surgiu esta dimensão e que fatores considerou para a obter?

PCC: Nós fizemos vários testes com a Viúva Lamego, inclusivamente com peças mais pequenas, o que não resultou na fachada. No fim conseguimos uma peça de 60cm que, mais uma vez por causa dos custos, foi reduzida para 50cm.

RB: Em relação ao processo de fabrico da peça, ela foi produzida na Cerâmica Cumella. A escolha da fábrica teve alguma influência na conceção da peça? Caso não tenha, por que não foi escolhida uma empresa portuguesa?

PCC: Nós tentámos trabalhar com a indústria portuguesa. Fomos à Viúva Lamego, que é uma indústria gigante e testámos peças muito pequeninas. A flexibilidade da indústria portuguesa é zero, porque não fazem costumização; querem vender o que é standard. A costumização na indústria é algo contemporâneo, é muito interessante, mas difícil, e não precisa de ser uma grande estrutura. A Cumella, muito inteligentemente, tem uma fábrica com 100m2, muito pequena, quando comparada com os 100.000m2 da Viúva Lamego. O que a Cumella faz é montar equipas, com quem faz os moldes, quem faz sistema de fachadas, quem pode vir a cozer as peças em grande escala, se eles não tiverem um forno suficientemente grande, ou seja, todos cooperam para um determinado projeto.

No início até começámos com uma peça mais complexa e tínhamos ideia de desenvolvê-la com a indústria portuguesa, por isso, eu ainda tentei durante 3 ou 4 meses em Portugal. Depois, mandámos um e-mail para a Cumella, para ver o que é que eles diriam e eles responderam passado uma semana com uma fotografia de um protótipo. O Cumella, na altura, tinha feito um projeto em Aichi, do Zaera, e depois fez este, e não tinha feito mais nada fora de Espanha, isto é, eu fui o primeiro arquiteto estrangeiro com quem ele trabalhou. Depois do meu projeto, ele trabalhou para o Renzo Piano, Rem

Koolhaas, agora trabalhou aqui com a Amanda Levete, com o Kengo Kuma, para muitos outros. Por isso, claro que eles investiram, claro que tiveram retorno.

A indústria tem que ter vertentes de desenvolvimento e não pode estar simplesmente a pensar em vender só o produto. O problema da arquitetura e dos próprios arquitetos é que, hoje em dia, têm de escolher de um catálogo. Não há qualquer liberdade, nem ao nível dos seguros e da regulação cada vez mais apertada, nem ao nível da própria indústria. Queres desenhar um caixilho não consegues, queres fazer uma fachada não consegues. A indústria portuguesa não está preparada para desenvolver produto. Noutras zonas do globo, a indústria é mais flexível, mas acima de tudo existem empresas que fazem desenvolvimento de fachadas, só fazem fachadas. Geralmente são na maioria compostas por engenheiros e são empresas que faturam tanto ou mais que muitas empresas de arquitetura ou até mais que algumas indústrias. Parece-me que em Portugal, com o tipo de arquitetura que temos, poderia haver menos regulação e mais flexibilidade na indústria, o que permitiria muito mais inovação e valor acrescentado, especialmente com a qualidade dos arquitetos que temos e a capacidade que eles têm de desenhar fachadas e de desenhar elementos. É realmente ridículo, quase triste, que eles não tenham esta capacidade de desenvolvimento de uma fachada. E não é apenas fazer uma peça, é cooperarem com quem faz estruturas, os moldes e com quem coze as peças. Tenho a certeza que é um mercado que poderia crescer muito.

RB: Como é que a peça foi produzida? Realizaram-se protótipos? Recorreram a alguma tecnologia digital?

PCC: Foram feitos protótipos, muitos. Eu faço sempre protótipos, sempre que consigo, insisto e trabalhamos muito com a faculdade. As ferramentas são quase sempre as mesmas, a FormZ, o CAD/CAM, etc. Aqui no Oceanário especificamente, como havia alguém na Cumella que fazia modelos, nós fazíamos o desenho, ele é que desenvolvia os modelos todos e fazia a prototipagem. Eu sempre que posso faço protótipos, nem sempre consigo.

As peças foram produzidas através de extrusão, prensagem plástica e colagem de barbotina. As do canto são cortadas e coladas, para fazerem o remate.

RB: Na representação do projeto e, em particular, na conceção e descrição do sistema de revestimento, qual foi o papel do computador?

PCC: O que é mais importante não é o contributo do computador, é aquilo que tu pensas sobre o assunto e o que desenhas. Pensar é desenhar. O computador não pensa, e mesmo que o venha a fazer, não faz contradições e não gere a complexidade de forma parcial, o que é fundamental para resolver problemas humanos.

RB: Vê como uma oportunidade, ou ameaça, para a indústria a emergência das novas tecnologias de fabricação digital como a fresagem por CNC ou a impressão 3D? Quando refiro indústria, refiro-me não só ao setor produtivo (fábricas), mas também os arquitetos e a sua capacidade de imaginar

e projetar.

PCC: O processo de projetar não é linear. Os engenheiros trabalham com a certeza e eles precisam de parâmetros e tudo o que é "natural", eles trabalham para provarem e para terem uma certeza. Aliás, a engenharia, o que faz é traduzir fórmulas e cálculos, para retirar toda a incerteza: se houver incerteza, aquilo não é construído. Os arquitetos trabalham com a incerteza, sempre e constantemente. É exatamente o contrário, sempre que há uma certeza, nós temos dúvidas. Portanto, é muito complexo não só dizer-te qual é que é o processo, porque as coisas começam muitas vezes em lados diferentes, com pressões de contexto, clientes, materiais, o preço, várias coisas ao mesmo tempo e tu vives nesta incerteza, navegas nela, sem nunca saber se está bem ou mal. Aliás, na arquitetura o bem e o mal é ridículo. Mas há boa arquitetura, que é exatamente aquela que não é uma fórmula, e que pode ser feita de forma aleatória em todo o lado. No modernismo experimentou-se muito isso e foi fundamental. Hoje vivemos outros tempos e as respostas têm de ser diversas. Se retirarmos a incerteza à arquitetura neste momento, não fica nada. Não estamos nos anos 60 e 70, onde obviamente era necessária muita repetição, era este o contexto socioeconómico. Hoje se fizermos isso, reduzimos a zero a possibilidade de existir arquitetura.

Não me interessa a produção da arquitetura como um mero serviço sem acrescentar valor. O serviço é facilmente substituído. Um processo de arquitetura é demasiado complexo se for feito com dúvida. Jamais uma máquina o conseguiria fazer, porque está cheio de contradições, cheio de incertezas. A tecnologia é ótima, não vejo nenhum problema, mas é uma mera ferramenta. Portanto, eu não vejo nenhum perigo, antes pelo contrário. Dou o exemplo do Photoshop: quando saiu, os *designers* ficaram assustadíssimos, e de facto o *design* sofreu uma alteração. Hoje há excelentes *designers*, e quando queremos fazer um *poster* bom, convidamos um e vemos imediatamente a diferença. Hoje, os bons *designers* têm trabalho, obviamente, mas os que faziam um mero serviço, não têm lugar no mercado, não acrescentam valor nenhum. Posso fazer o meu *poster* sozinho com o programa de computador.

RB: Face aos desafios da atualidade (sustentabilidade, eficiência energética,...) e a emergência de novos materiais, como vê o futuro da cerâmica na arquitetura?

PCC: Como te expliquei não vejo as coisas ligadas, não vejo os materiais ligados à arquitetura. Vejo que o futuro da arquitetura vai ser espetacular.

RB: Pensa que em Portugal existem condições (económicas, tecnológicas, de visão...) para reforçar a tradição construtiva com este material e projetá-la internacionalmente e para o futuro?

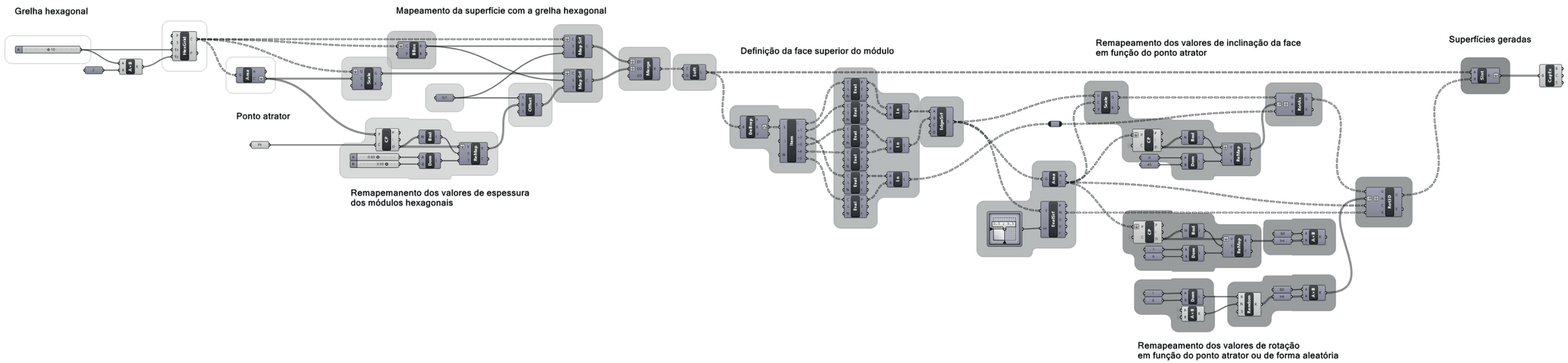
PCC: Claro que existem. Mas a indústria tem que perceber que não pode vender 5.000.000 m2 de azulejo por ano sem fazer desenvolvimento, sem ser flexível, sem fazer costumização, sem inovação, sem criar parcerias. Tem que ter departamentos de desenvolvimento, que custam dinheiro, há investimento, e o retorno é muito mais lento. O caminho, na minha opinião, é sempre através da

tecnologia e sempre através da inovação. Não há outro que eu conheça. Não sou nem industrial, nem economista, mas parece-me que na construção todas as edições que têm sido feitas têm sido sempre na junção da tecnologia, da ciência e na incorporação destas coisas nos materiais. A indústria tem de ser competitiva e, para o ser, precisa de ter essa incorporação de tecnologia. A cerâmica tem uma tradição, sim, mas realmente tem que passar a ter muita inovação.

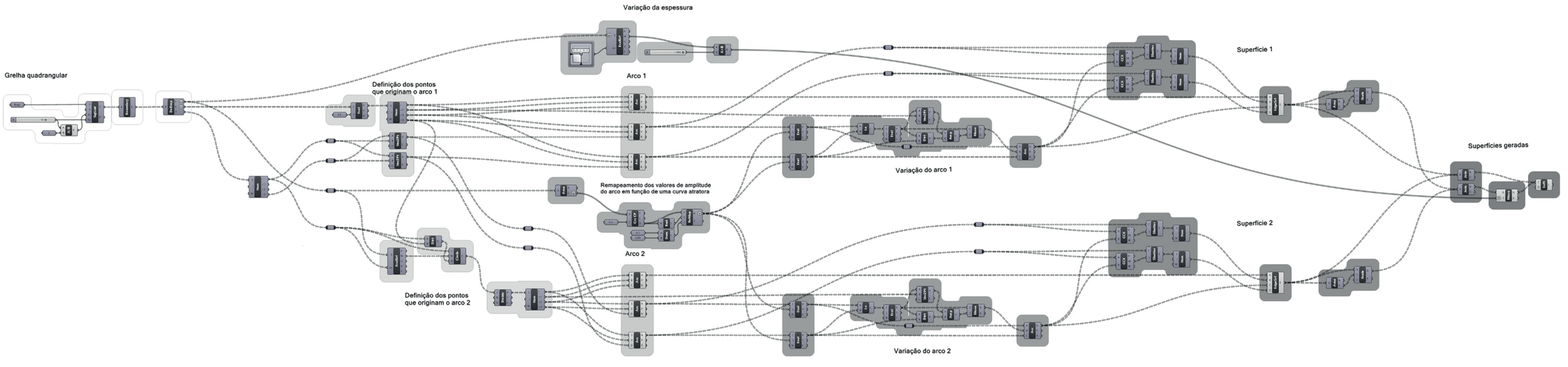
Esta entrevista foi realizada presencialmente a 24.10.2018.

Anexo 3. Definições de Grasshopper

Relevo - Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões



Abertura - Extensão do Oceanário de Lisboa



Forma - Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia de Lisboa

