



A Pedra como Material Estrutural na Arquitetura Contemporânea

“Versão final após defesa”

Liliana Teixeira Salgueirinho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Arquitetura

(mestrado integrado)

Orientadores: Prof. Clemente Martins Pinto

Prof. Ana Rita Martins Ochoa de Castro

Janeiro de 2026

A Pedra como Material Estrutural
na Arquitetura Contemporânea

Declaração de Integridade

Eu, **Liliana Teixeira Salgueirinho**, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição **44472** do curso **Mestrado Integrado em Arquitetura da Faculdade de Engenharias**, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Liliana Teixeira Salgueirinho

Universidade da Beira Interior, Covilhã 06 /01/2026

Agradecimentos

A presente dissertação, desenvolvida ao longo dos últimos dois anos, marca o encerramento de um ciclo dedicado ao curso de Arquitetura. A sua realização não seria possível sem a contribuição de um conjunto de várias pessoas, a quem expresso a minha gratidão.

Agradeço aos meus orientadores pelo acompanhamento durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço aos meus pais, pelo suporte emocional e apoio incondicional ao longo de todo este percurso. À minha irmã, Engenheira Ana Filipa Salgueirinho, pelo cuidado e disponibilidade na revisão da dissertação. Ao Arquiteto Henrique Soares, o meu companheiro, agradeço por me ter acompanhado em todos os trabalhos de campo, pelo papel de fotógrafo e pelo apoio constante, incluindo a revisão deste trabalho.

Agradeço também às empresas StoneSet e Maroufi, pela generosidade em me receberem nas suas instalações e partilharem as suas histórias e conhecimentos, que enriquecem a minha investigação. Agradeço a Junta de Freguesia de Moledo por fornecer conhecimento sobre a história da pedreira StoneSet.

Resumo

A pedra tem tido um dos papéis principais na história da arquitetura enquanto material estrutural, tendo dado origem a alguns dos exemplos mais notáveis da construção ao longo dos séculos. Apesar de ter perdido protagonismo com a Revolução Industrial, sendo substituída pelo betão armado e pelo aço, este recurso continua a revelar-se um material duradouro e resistente. O contexto contemporâneo é marcado pela procura de soluções mais sustentáveis, a pedra ressurge como alternativa capaz de responder às exigências.

A presente dissertação analisa a evolução do uso da pedra desde as suas aplicações ancestrais até ao seu papel na arquitetura contemporânea, identificando as razões que conduziram ao declínio da sua utilização e as condições que justificam o seu regresso na atualidade. Para além do enquadramento histórico e técnico, são apresentados casos de estudo internacionais que evidenciam a relevância atual deste material em soluções arquitetónicas inovadoras.

Em paralelo, são estudados o território e o granito da zona de Castro Daire que se destaca pela sua facilidade de corte, uma vantagem em termos de produção e redução de custos energéticos. Articulando um trabalho de campo em contexto local, observam-se práticas tradicionais em pedra que moldam o território. Complementarmente, desenvolve-se uma proposta experimental que adapta uma habitação originalmente concebida em betão armado, agora pensada em granito, evidenciando como a pedra pode ter um papel estrutural.

Este percurso permite concluir que a pedra pode ser mais do que um elemento de revestimento ou decorativo, trata-se de um material estrutural capaz de responder às exigências de sustentabilidade, funcionalidade e resistência e que pode desempenhar um papel de alta relevância na arquitetura contemporânea.

Palavras-Chave

Arquitetura em Pedra; Pedra como Material Estrutural; Sustentabilidade; Identidade Territorial; Granito; Castro Daire.

Abstract

Stone has played a central role in the history of architecture as a structural material, giving rise to some of the most notable examples of construction throughout the centuries. Despite having lost prominence with the Industrial Revolution, when it was replaced by reinforced concrete and steel, this resource continues to prove itself to be a durable and resistant material. In the contemporary context, marked by the search for more sustainable solutions, stone re-emerges as an alternative capable of meeting current demands.

This dissertation analyses the evolution of the use of stone from its ancestral applications to its role in contemporary architecture, identifying the reasons that led to the decline of its use and the conditions that justify its return today. In addition to the historical and technical framework, international case studies are presented that demonstrate the current relevance of this material in innovative architectural solutions.

In parallel, the territory and the granite of the Castro Daire region are examined, which stands out for its ease of cutting, an advantage in terms of production and reduced energy costs. By articulating fieldwork in a local context, traditional stone practices that shape the territory are observed. Complementarily, an experimental proposal is developed that adapts a dwelling originally designed in reinforced concrete, now reimagined in granite, demonstrating how stone can assume a structural role.

This process allows the conclusion that stone can be more than a cladding or decorative element; it is a structural material capable of meeting the demands of sustainability, functionality, and resistance, and one that can play a highly relevant role in contemporary architecture.

Keywords

Stone Architecture; Stone as a Structural Material; Sustainability; Territorial Identity; Granite; Castro Daire.

Índice

Agradecimentos	5
Resumo	7
Palavras-Chave	7
Abstract.....	9
Keywords	9
Índice	11
Lista de Figuras.....	14
Lista de Tabelas	19
Lista de Acrónimos	21
Capítulo 1 Formação do problema	23
1.1 Introdução	23
1.2 Objetivos.....	24
1.3 Metodologia.....	25
Capítulo 2 A Jornada da Pedra: da Tradição a Sustentabilidade.....	26
2.1 O uso da pedra até à Revolução Industrial	27
2.2 Pedra como material estrutural após a Revolução Industrial	38
2.2.1 Predominância do Betão Armado	45
2.3 Revolução da Sustentabilidade.....	49
2.3.1 O Retorno da Pedra	54
Capítulo 3 Construção em Pedra na Atualidade	63
3.1 Referências Contemporâneas.....	64
3.1.1 15 Clerkenwell Close.....	66
3.1.2 Can Lis	74
3.1.3 Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar	82
3.1.4 Pavillon D'accueil de la Carrière de Fontvieille.....	92
3.2 A pedra no território	100
3.2.1 Fornecedores da Identidade Construtiva	101

3.2.2 Identidade Territorial	115
Capítulo 4 Projeto Experimental.....	128
4.1 Planeamento de obra.....	130
4.2 Intervenção na Estrutura.....	134
4.3 Tratamento das Paredes Interiores	139
Considerações finais	143
Bibliografia	146
Bibliografia de Figuras.....	151
Bibliografia de Tabelas	160

Lista de Figuras

Figura 1 Pirâmide de Saqqara (Freitas, 2020)	28
Figura 2 Panteão de Roma (Rome tickets, s.d.)	29
Figura 3 Comportamento de forças (Autora, 2024).....	30
Figura 4 Arco das Portas do sol, Guarda (Autora, 2024)	30
Figura 5 Catedral de Palma Maiorca (Mallorca Tickets, s.d.)	31
Figura 6 Catedral da Guarda (Autora, 2024)	33
Figura 7 Nave Lateral (Autora, 2024)	35
Figura 8 Nave Central (Autora, 2024)	35
Figura 9 Cruzeiro (Autora, 2024).....	35
Figura 10 Pilar Cruciforme (Autora, 2024).....	35
Figura 11 Contrafortes da Catedral (Autora, 2024).....	36
Figura 12 Arcobotantes (Quinaz, A., 2020).....	36
Figura 13 Comportamento de forças dos contrafortes (Autora, 2024).....	36
Figura 14 Planta de abóbadas [Adaptado a partir de (Quinaz, 2020, p.120)]	37
Figura 15 Ponte Brooklyn, Nova Iorque (Bary, 2015)	40
Figura 16 Barco de Betão Armado (Henry, 2012)	41
Figura 17 Primeira Ponte de Betão Armado em Portugal (Vieira, s.d.)	41
Figura 18 Garege Ponthieu (<i>Garage Ponthieu rue Ponthieu Paris 8 Auguste Perret</i> , s.d.)	42
Figura 19 Casino de Biarritz (Casino municipal, s.d.).....	44
Figura 20 Fábrica do Caramujo antes do incêndio (Toscano, 2022).....	46
Figura 21 Reconstrução da Fábrica do Caramujo (Wikimedia, 2009)	46
Figura 22 Esquema demonstrativo dos elementos da sustentabilidade (Caramelo, 2017, p. 30).....	50
Figura 23 Ciclo da vida dos edifícios (Caramelo, 2017, p. 52)	53
Figura 24- Gráfico sobre a incorporação do carbono nos materiais («Natural Stone», 2011, p. 4).....	55
Figura 25- Gráfico com a diferença de CO ₂ entre tipos pedras («Natural Stone», 2011, p. 5)	56
Figura 26- Emissão carbónica dos materiais (Webb, 2020)	61
Figura 27- Comparação de produção de pedra e pré-fabricados de betão (Vierra, 2022)	62
Figura 28 Contraste do edifício com a Igreja St. James (Soar, T. 2017)	67
Figura 29 Edifício com envolvente (Soar, T. 2017)	67

Figura 30 Planta piso -1 (Amin Taha Architects and Groupwork)	69
Figura 31 Planta piso 0 (Amin Taha Architects and Groupwork).....	69
Figura 32 Planta piso 1 (Amin Taha Architects and Groupwork).....	69
Figura 33 Planta piso 2 (Amin Taha Architects and Groupwork)	69
Figura 34 Alçado principal (Amin Taha Architects and Groupwork).....	69
Figura 35 Corte (Amin Taha Architects and Groupwork).....	69
Figura 36 Interior do Atelier (Soar, T. 2017)	70
Figura 37 Interior dos apartamentos (Soar, T. 2017).....	70
Figura 38 Corte das pedras usadas (Soar, T.)	71
Figura 39 Pormenor em corte da ligação entre a fachada e o edifício	72
Figura 40 Pormenor em perspetiva da ligação entre a fachada e o edifício	72
Figura 41 15 Clerkenwell Close (Soar, T., 2017)	73
Figura 42 Alçado principal (Utzon Foundation).....	75
Figura 43 Alçado tardoz (Chin, T.).....	75
Figura 44 Alçado tardoz (Utzon Foundation)	77
Figura 45 Planta de piso (Utzon Foundation).....	77
Figura 46 Corte do volume principal (Arquiteturaviva)	77
Figura 47 Entrada (Utzon Foundation)	78
Figura 48 Pátio sem programa (Utzon Foundation).....	78
Figura 49 Pátio Principal (Utzon Foundation)	78
Figura 50 Pátio Principal (Utzon Foundation)	78
Figura 51 Sala de Estar (Utzon Foundation).....	78
Figura 52 Quarto (Utzon Foundation)	78
Figura 53 <i>Bovedillas</i> (Candeias, S., 2014).....	79
Figura 54 Can Lis (Arquiteturaviva)	81
Figura 55 Alçado Sul (Atelier d'Architecture Perraudin)	83
Figura 56 Alçado Norte (Atelier d'Architecture Perraudin).....	83
Figura 57 Diagrama de estudos (Atelier d'Architecture Perraudin)	84
Figura 58 Alçados (Atelier d'Architecture Perraudin)	85
Figura 59 Plantas de Piso (Atelier d'Architecture Perraudin)	85
Figura 60 Cortes (Atelier d'Architecture Perraudin)	85
Figura 61 Interior e Exterior (Atelier d'Architecture Perraudin).....	86
Figura 62 Estrutura (Atelier d'Architecture Perraudin)	87
Figura 63 Planeamento de blocos usados no Alçado Oeste (Atelier d'Architecture Perraudin).....	88
Figura 64 Planeamento de blocos usados no Núcleo Central (Atelier d'Architecture Perraudin).....	89

Figura 65 Exemplo de fachada sem planeamento prévio dos blocos (Autora, 2024)...	89
Figura 66 Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar	91
Figura 67 Alçado principal (Atelier Architecture Perraudin)	93
Figura 68 Alçado tardoz (Atelier Architecture Perraudin)	93
Figura 69 Pintura <i>Broadway Boogie-Woogie</i> (Piet Mondrin).....	94
Figura 70 Alçados (Atelier Architecture Perraudin)	95
Figura 71 Planta de piso (Atelier Architecture Perraudin).....	95
Figura 72 Corte com envolvente (Atelier Architecture Perraudin).....	95
Figura 73 Exterior e interior (Atelier Architecture Perraudin).....	96
Figura 74 Edificação das paredes sem recurso a argamassa sobre a base de betão armado	97
Figura 75 Encaixes esculpidos nos blocos (Atelier Architecture Perraudin)	98
Figura 76 Pavillon D'accueil de la Carrière de Fontvieille (Atelier Architecture Perraudin).....	99
Figura 77 Relação paisagem montanhosa com fluxo da pedreira (Autora, 2024).....	101
Figura 78 StoneSet (Autora,2024)	103
Figura 79 Pedreira (Autora,2024).....	104
Figura 80 Separação de bloco do solo (Autora, 2024).....	105
Figura 81 Divisão de blocos (Autora,2024).....	106
Figura 82 Acabamento lateral (Autora,2024).....	106
Figura 83 Técnica antiga a usar pico martelo (Autora, 2024)	107
Figura 84 Dendrítico (Autora, 2024)	108
Figura 85 Transformação de desperdícios em cubos para calçada (Autora, 2024)....	109
Figura 86 Maroufi (Autora,2024)	110
Figura 87 Tijolo de granito (Autora,2024).....	112
Figura 88 Viga de granito (Autora,2024).....	112
Figura 89 Máquina de corte (Autora,2024)	113
Figura 90 Máquina de acabamento (Autora,2024)	113
Figura 91 Máquina de corte no bloco grande (Autora,2024).....	113
Figura 92 Babete (Autora,2024)	113
Figura 93 Cujó (Autora,2025)	116
Figura 94 Uma das construções mais antigas de Cujó (Autora,2024).....	117
Figura 95 Igreja de Cujó (Autora,2024).....	118
Figura 96 Ampliações das construções em pedra (Autora,2024)	118
Figura 97 Rua com construções antigas (Autora,2024).....	120
Figura 98 Adição de tijolo (Autora,2024)	122
Figura 99 Reboco sobre paredes de pedra (Autora,2024)	122

Figura 100 Palheiro de 1886 ao lado de uma habitação de 2018 (Autora,2024)	123
Figura 101 Habitação com parede mista com pedra (Autora,2024)	124
Figura 102 Parede mista com granito e tijolo (Autora,2024)	124
Figura 103 Viga de betão armado ao lado de parede de pedra (Autora,2024)	125
Figura 104 Viga de pedra (Autora,2024)	126
Figura 105 Pilar de pedra (Autora,2024)	126
Figura 106 Identidade territorial contemporânea (Autora,2024)	127
Figura 107 House X (Luis Asin)	128
Figura 108 Desenhos técnicos da House X [Adaptado a partir de (Bojaus arquitetura)]	129
Figura 109 Transporte (Autora, 2025)	130
Figura 110 Plantas com o projeto inicial e plantas com os elementos a substituir (Autora,2025)	131
Figura 111 Alçado com o projeto inicial e alçado com elementos a substituir (Autora,2025)	132
Figura 112 Alçados do projeto experimental (Autora,2025)	132
Figura 113 Separação das placas em granito (Autora,2025)	133
Figura 114 Primeira fiada (Autora,2025)	134
Figura 115 Segunda Fiada (Autora,2025)	134
Figura 116 Planta de implantação (Autora,2025)	135
Figura 117 Última fiada (Autora,2025)	136
Figura 118 Organização de vigas de madeira usadas no teto (Autora,2025)	136
Figura 119 Colocação da moldura de madeira (Autora,2025)	137
Figura 120 Detalhe construtivo da cobertura (Autora,2025)	137
Figura 121 Execução do piso superior (Autora,2025)	138
Figura 122 Fixação das ripas de madeiras (Autora,2025)	139
Figura 123 Colocação do isolamento (Autora,2025)	140
Figura 124 Colocação das placas de OSB (Autora,2025)	140
Figura 125 Detalhe construtivo da parede interior e piso radiante (Autora,2025)	141

Lista de Tabelas

Tabela 1 Tabela Pedra vs. outros materiais de construção.....	54
Tabela 2 Tabela da densidade do material.....	56
Tabela 3 Tabela com fase de produção.....	57 e 58
Tabela 4 Tabela da fase de execução.....	59
Tabela 5 Tabela dos Blocos.....	129

Lista de Acrónimos

CEB - Comité Euro-International du Béton

ONU - Organização das Nações Unidas

WCED - Comissão Internacional para o Ambiente e o Desenvolvimento

RMI - Rocky Mountain Institute

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ESF - English Stone Forum

HVAC - Heating, Ventilation, and Air Conditioning

MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute

CO₂ - Dióxido de carbono

MPa - Mega Pascal

cm - Centímetros

mm - Milímetros

m - Metros

FCK - Feature Compression Know

km - Quilómetro

Capítulo 1 | Formação do problema

1.1 | Introdução

Atualmente, o setor da construção civil em países como Portugal, Espanha, França, Reino Unido e entre outros, recorrem essencialmente ao betão armado e ao aço. A generalização do uso destes materiais, surgidos na Revolução Industrial, foi impulsionada pelo desenvolvimento tecnológico que facilitou a sua aplicação massiva no período pós-industrial.

Contudo, este avanço industrial levou ao progressivo abandono da pedra como material estrutural, devido fundamentalmente às dificuldades na produção. Com a necessidade de redução das emissões carbónicas no contexto atual, tornou-se urgente promover a sustentabilidade e reduzir os níveis de carbono na atmosfera, nesse contexto, a pedra volta a ganhar protagonismo sendo novamente considerada uma alternativa viável e relevante para a conceção arquitetónica.

Estudos realizados pela SISTech e pela Universidade de Heriot-Watt evidenciam o potencial da pedra como solução vantajosa para a construção em diferentes contextos. Estes estudos destacam que a sua pegada ecológica é inferior à do betão ou do aço, além do material ter durabilidade, apresentada por inúmeros exemplos de edificações que resistem até hoje.

A consciencialização da sociedade para a importância da construção em pedra revela-se essencial como estratégia de redução do impacto ambiental. Nesse processo, a arquitetura e a engenharia civil desempenham um papel central, ao desenvolver e promover soluções inovadoras que integrem a pedra na contemporaneidade, sobretudo como material estrutural. Essa valorização deve, contudo, ser acompanhada por uma reflexão sobre a viabilidade económica, de modo a garantir que a sustentabilidade se alia à realidade prática do setor da construção.

Posto isto, a presente dissertação pretende contribuir com uma perspetiva arquitetónica para a valorização e a reutilização da pedra, explorando o seu potencial enquanto material sustentável e duradouro. Procura-se não apenas destacar a relevância histórica e cultural, mas também evidenciar as possibilidades que a sua utilização oferece no contexto contemporâneo da construção.

1.2 | Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo principal demonstrar o potencial da pedra enquanto material estrutural na arquitetura, analisando a sua importância ao longo da história e a sua capacidade de dar resposta às exigências como: a resistência, a durabilidade e a sustentabilidade.

Os restantes objetivos para o presente trabalho são:

- Examinar a evolução histórica do uso da pedra como material estrutural, analisar as razões do declínio da sua utilização e os fatores que justificam o seu regresso na atualidade.
- Investigar casos de estudo contemporâneos onde a pedra desempenha um papel estrutural, de modo a evidenciar soluções arquitetónicas que provam a sua viabilidade.
- Examinar o potencial do granito português, com destaque para o da zona de Castro Daire, sublinhando as suas propriedades únicas de separação e a sua influência para a economia local.
- Demonstrar a viabilidade técnica e arquitetónica do granito em habitações sustentáveis e contemporâneas.

1.3| Metodologia

A metodologia adotada na dissertação organiza-se em diferentes etapas, articuladas de forma a responder aos objetivos da investigação. Inicia-se por uma recolha bibliográfica centrada na utilização da pedra enquanto material estrutural, com vista a explorar a sua evolução histórica e técnicas desde o período pré-industrial até ao contexto contemporâneo.

São analisados casos de estudo contemporâneos internacionais, que demonstram a aplicação estrutural da pedra em obras de referência, permitindo articular uma perspetiva global com a realidade portuguesa.

A etapa seguinte foi apoiada essencialmente em trabalho de campo, primeiramente com foco na aplicação do granito na região de Castro Daire, através de trabalho de investigação com as pedreiras locais, para compreender as dinâmicas de extração, produção e exportação da pedra. Paralelamente, realizaram-se um conjunto de deslocações e observação na aldeia de Cujó, onde se observa a arquitetura local e o uso tradicional da pedra, bem como a interação com artesãos que preservam este saber-fazer.

Por fim, o trabalho contemplou a realização de uma experiência projetual, através de uma adaptação de uma habitação originalmente concebida em betão armado, agora pensada em granito. Esta aplicação evidencia a capacidade do material para responder a requisitos de resistência e de sustentabilidade.

Capítulo 2 | A Jornada da Pedra: da Tradição a Sustentabilidade

Neste capítulo apresenta-se a linha cronológica da aplicação da pedra, dividida em três subcapítulos que descrevem os principais momentos da sua história. No primeiro subcapítulo é retratado o início da construção em pedra, no segundo abordam-se os fatores que levaram ao seu desuso enquanto material estrutural, e no terceiro examina-se o período em que a pedra volta a ser utilizada.

O primeiro subcapítulo, “O uso da pedra até à Revolução Industrial”, foca-se numa época na qual era recorrente a construção em pedra. Deste modo, são evidenciados exemplos de obras onde esta assume a função estrutural, que leva à criação de novos elementos construtivos que marcam a arquitetura, os primeiros sistemas estruturais e a requalificação dos que já existiam há vários séculos.

No segundo subcapítulo, “Pedra como material estrutural após a Revolução Industrial” frisa os novos materiais com resistências semelhantes à pedra e a sua respetiva importância para arquitetura. Nomeadamente na secção “Predominância do betão armado”, abordam-se as razões pelas quais o betão armado influenciou a decadência do uso da pedra como material estrutural.

No terceiro subcapítulo, “Revolução da Sustentabilidade”, a simbiose entre o Homem e Meio Ambiente é ressaltada. É durante a Revolução Industrial que as emissões carbónicas aumentam, fazendo surgir o debate em torno da sustentabilidade. A necessidade de mudar esta realidade parte do arquiteto, que tem assim um papel fundamental na escolha de materiais menos poluentes como a pedra. Este tema é abordado na secção “O retorno da pedra”, onde são apresentados artigos de associações, revistas científicas e especialistas que advogam o retorno da pedra como material estrutural devido às suas propriedades sustentáveis, mecânicas e tectónicas.

Outrora, a pedra era usada em larga escala devido ao seu fácil acesso, ausência de alternativas e garantia de bom desempenho e durabilidade. Com o passar dos anos, apareceu um material de fácil execução – o betão armado –, que fê-la ficar de parte passando a ser utilizada com finalidade essencialmente ornamental.

2.1| O uso da pedra até à Revolução Industrial

Inicialmente, a pedra era usada no seu estado bruto, tal como vinha da natureza, mas com o passar dos anos começou a ser trabalhada de outras formas, sendo utilizada nas obras com mais cuidado e com vários tipos de acabamentos. Com o seu uso foram criados sistemas construtivos que marcaram a arquitetura vernacular e a arquitetura monumental.

A pedra foi o primeiro material utilizado pelo Homem na construção de abrigos, como cavernas, para proteção contra predadores e inimigos. As suas paredes interiores serviam como suportes para comunicação, com registos que permanecem até hoje devido à durabilidade do material. Além disso, a pedra era empregada no fabrico de ferramentas e objetos de caça, atuando como verdadeiras *cápsulas do tempo*. (Candeias, 2014; Pinto et al.)

“... In this regard, stone was considered the most durable material, whereas earth was often used where stone was scarce.”

(Roca, Lourenço, & Gaetani, 2019, p. 66)

Anos mais tarde, a sua utilização emerge na arquitetura dolménica, onde é possível constatar a introdução de um sistema construtivo do trílito¹, tornando-se essencial nas grandes construções egípcias e gregas. Na arquitetura grega, a pedra utilizada era principalmente o mármore branco local, empregado na construção de templos juntamente com elementos como colunas e arquivadas, criando um efeito ótico de leveza através da inclinação das colunas estruturais para o interior. (Candeias, 2014; Roca et al., 2019; Viseu, 1993)

¹ Sistema construtivo do trílito- duas colunas suportando uma arquivada.

A arquitetura egípcia destaca-se pelo uso da pedra na construção, as pirâmides são o símbolo das primeiras construções estruturais. A primeira obra estrutural é a Pirâmide de Saqqara ² [Fig.1] no Sacará, com 66 metros de altura construída no século XXVII a.C., está ladeada por uma muralha com um perímetro de 1662 metros onde foram utilizadas aproximadamente 130 mil toneladas de pedra. (Candeias, 2014; Pinto et al.; Viseu, 1993)

Na construção de importantes monumentos egípcios, eram usados grandes blocos de pedra, unidos por argamassa, onde as pedras eram trabalhadas de forma a serem minimizadas irregularidades nas superfícies. No interior de edifícios secundários recorriam pontualmente ao uso de abóbadas suportadas por colunas como capitéis. (Candeias, 2014; Pinto et al.; Viseu, 1993)



Figura 1| Pirâmide de Saqqara (Freitas, 2020)

² Pirâmide de Saqqara- primeira pirâmide do mundo construída pelo primeiro arquiteto reconhecido na história Imhotep.

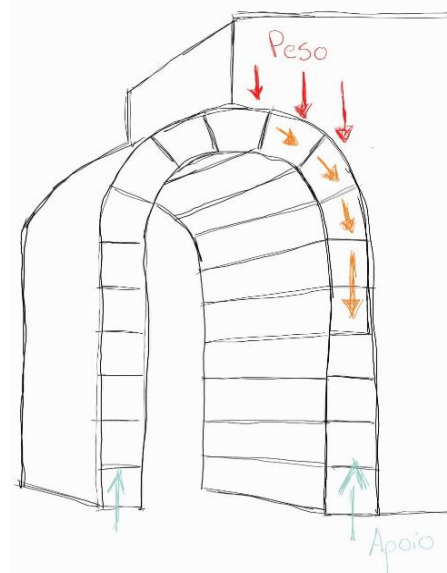
Os romanos marcaram a história da arquitetura através da introdução de novos sistemas construtivos, em que o arco e a abóbada eram colocados nos edifícios de maior relevância. Estes sistemas foram possíveis devido à descoberta de *Opus Caementicium*, que era um cimento leve composto por cal e cinza vulcânica, uma mistura utilizada para encher paredes de pedra, com o propósito de as tornar mais espessas para que assim pudessem suportar o peso da abóbada e da cúpula, foi com a sua aplicação que começou a ser possível vencer grandes vãos. Um dos exemplos mais expressivos da arquitetura romana é o Panteão de Roma [Fig.2], construído no ano 120 a 124 d.C. que possui uma cúpula com vão de 43 metros. (Candeias, 2014; *Como construir com betão, tijolos e pedras*, 1990; Roca et al., 2019)

Para além do desenvolvimento das técnicas anteriores, os romanos ainda aplicaram os arcos na construção de pontes e aquedutos. Na província de Itália, no século XI, os Etruscos introduzem novos métodos construtivos, no qual os grandes blocos de pedra, difíceis de transportar, foram substituídos por pedras pequenas conseguindo diminuir o tempo da execução do objeto arquitetónico. (Candeias, 2014; *Como construir com betão, tijolos e pedras*, 1990; Viseu, 1993)



Figura 2 | Panteão de Roma (Rome tickets, s.d.)

As forças provocadas pelos arcos [Fig.3 e 4] surgem na zona curva, aduela, ou no ponto de união, chave, sendo distribuídas para os pilares rígidos e encaminhadas para as fundações. A estabilidade depende das forças horizontais que manter compressão de juntas. Por isso que a construção em pedra depende da forma e das proporções. (Clemente, 2012; Roca et al., 2019; Víllora & Salom, 2011)



3



4

Figura 3| Comportamento de forças (Autora, 2024)

Figura 4| Arco das Portas do sol, Guarda (Autora, 2024)

Na arquitetura gótica, as paredes de suporte dos arcos e das abóbodas tornaram-se mais finas devido à criação do arcobotante, um arco externo que transfere as forças para o contraforte, um pilar ou estrutura construído do lado de fora das paredes do edifício. Além disso, a forma pontiaguda do arco gótico permite que as forças sejam direcionadas de maneira mais eficiente, reduzindo as reações horizontais necessárias e torna as paredes mais finas. (Candeias, 2014; Roca et al., 2019)

Mesmo com o aparecimento do cimento romano, nesta época a maior parte das construções eram realizadas com recurso à pedra, este tinha apenas o papel de argamassa. Como exemplo, temos a Catedral de Palma de Maiorca [Fig.5], construída em 1229, com a altura de 44 metros de altura. (Candeias, 2014; Roca et al., 2019)



Figura 5| Catedral de Palma Maiorca (Mallorca Tickets, s.d.)

Após a análise do percurso da construção em pedra em diferentes contextos culturais e arquitetónicos, torna-se pertinente observar de que forma este material foi determinante em Portugal. A realidade portuguesa distingue-se pelas suas especificidades, resultantes da diversidade de rochas disponíveis no território e das necessidades construtivas locais, que marcaram de forma singular a identidade arquitetónica nacional.

Em Portugal, a pedra é abundante e, em geral, de boa qualidade, o que possibilitou construir grandes monumentos, pontes e outras estruturas que atualmente assumem um valor patrimonial histórico e cultural, devido às suas características de durabilidade, estética e resistência. “A pedra sempre foi um veículo transmissor de saber e de cultura sendo uma marca ou símbolo de poder como terão sido os pelourinhos, os padrões, os obeliscos, as colunas comemorativas, as cartelas que registam acontecimentos ou ainda no caso dos castelos, fortes e palácios, as pedras de armas.” (Pinto et al., p. 6) (Candeias, 2014; Ribeiro, 2013)

O material de construção está ligado à sedentarização dos povos, sendo utilizada em objetos como muros, habitações, canais de rega, calçadas, entre outros e ainda em obras artísticas como monumentos, estátuas, igrejas. Ao longo do tempo, a pedra foi utilizada tanto na construção popular quanto na arquitetura erudita, funcionando como um veículo de civilização cuja presença se mantém até a atualidade.(Pinto et al.)

Como caso de estudo da utilização estrutural da pedra abordados anteriormente surge a Catedral da Guarda, construída em granito por ser um recuso natural abundante na zona, a sua escolha deve-se à resistência e à durabilidade do material. (Candeias, 2014; Quinaz, 2020; Ribeiro, 2013)

A Catedral da Guarda [Fig.6] foi construída em diversas fases, a primeira fase inicia-se em 1390 e termina 1398, no reinado de D. João I, dedicada à Nossa Senhora da Assunção. Na segunda fase, foram levantadas as paredes da nave esquerda e inserido o brasão do bispo D. Gonçalo Vasques da Cunha II, no pórtico lateral norte. Na terceira fase, D. Luiz da Guerra introduz dois brasões e é fechada a capela do evangelho. Na quarta fase, são colocados elementos ornamentais e dá-se a conclusão da capela-mor. Existe uma incerteza sobre a data de finalização da catedral, por isso pressupõem-se que foi no intervalo de 1530-1540. (Candeias, 2014; Quinaz, 2020; Ribeiro, 2013)



Figura 6| Catedral da Guarda (Autora, 2024)

Numa visita ao monumento pretendeu-se observar os seus aspetos estruturais, apresenta um estilo gótico tardio com elementos pontualmente do estilo manuelino. Apresenta uma planta em cruz latina com três naves, sendo a nave central [Fig. 7] mais elevada, com cerca de 19 metros de altura e 32 metros de comprimento, sustentada por oito pilares cruciformes com 2 metros de diâmetro. As duas naves laterais [Fig. 8] têm 12 metros de altura e com o mesmo comprimento da nave central, acompanhadas pelas sete capelas.

O cruzeiro [Fig. 9], onde se encontra o altar, tem uma altura de 22 metros e é suportado por quatro pilares cruciformes [Fig. 10] com o diâmetro de 3 metros, com uma área de 94 m². A capela-mor tem a mesma altura da nave central e o seu comprimento é de 10 metros. As espessuras das paredes dependem da sua localização e da sua função estrutural, variando entre 1 metro e 1.5 metro.

A catedral tem cerca de 55 metros de comprimento, a sua largura varia entre 26 metros a 38 metros, com uma área de 1600 m², realizada em blocos de granito. Para que a catedral atingisse tal altura e dimensão, bem como a espessura das paredes, foi fundamental o uso de contrafortes [Fig. 11] e arcobotantes [Fig. 12], que direcionam o percurso das forças [Fig. 13] até às fundações.



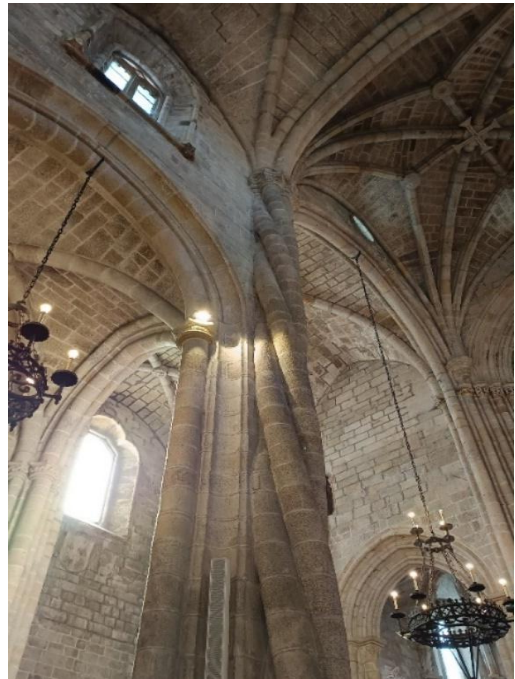
7



8



9



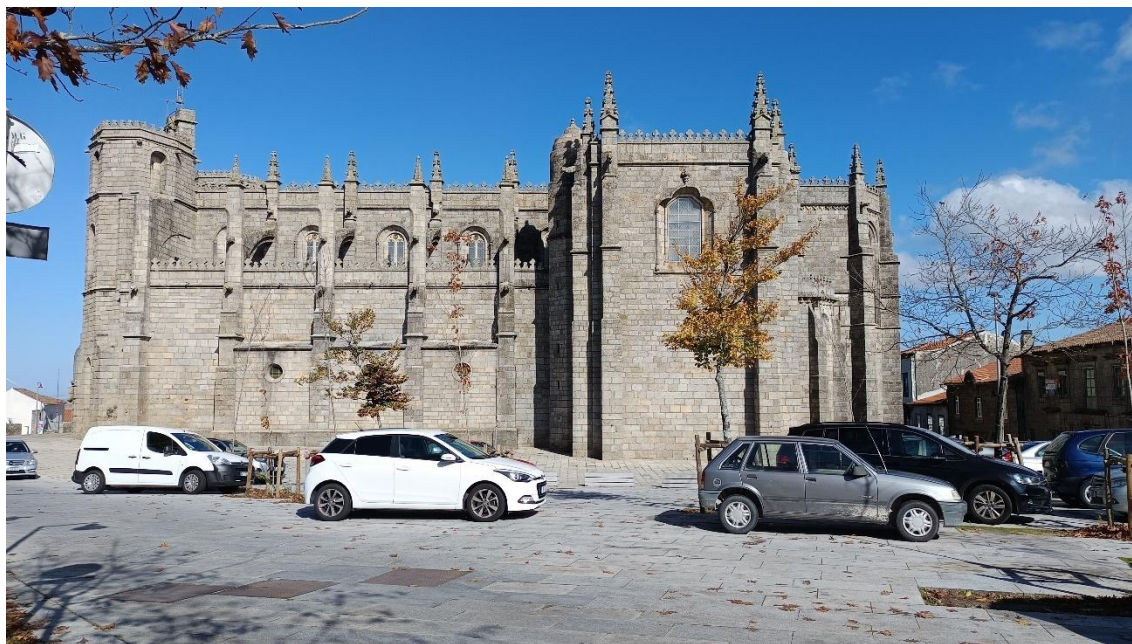
10

Figura 7| Nave Lateral (Autora, 2024)

Figura 8| Nave Central (Autora, 2024)

Figura 9| Cruzeiro (Autora, 2024)

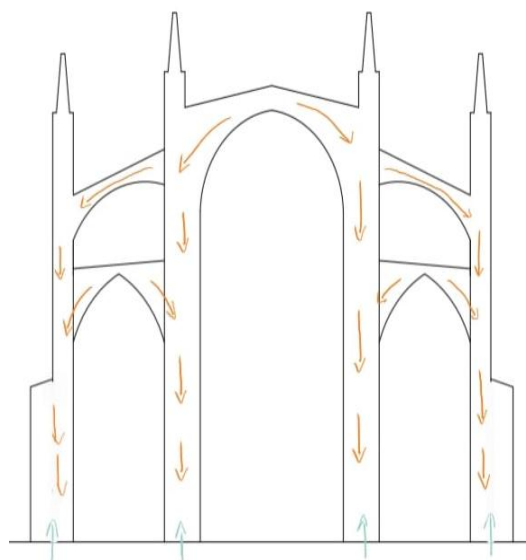
Figura 10| Pilar Cruciforme (Autora, 2024)



11



12



13

Figura 11| Contrafortes da Catedral (Autora, 2024)

Figura 12| Arcobotantes (Quinaz, A., 2020)

Figura 13| Comportamento de forças dos contrafortes (Autora, 2024)

Os arcos da catedral são arcos em ogiva, volta perfeita, abatido ou formeiros. As suas abóbodas [Fig.14] são em ogiva, estrela ou polinervadas, embora sejam semelhantes em certos casos elas apresentam características que as diferem entre si.

“É dito velho e verdade profunda, que não há revoluções em arte, antes, tudo provêm da evolução de formas conhecidas, se bem que indefinidas ou obscuras.” (Perreira, 1940, p. 12)

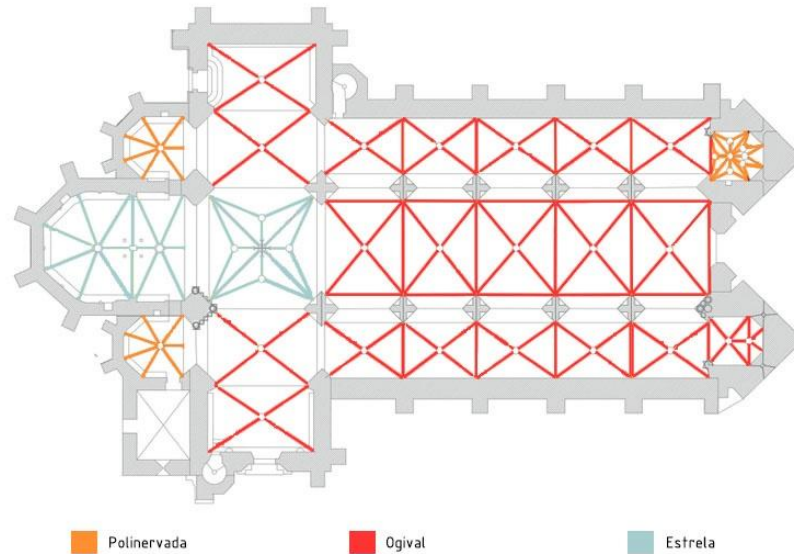


Figura 14| Planta de abóbodas [Adaptado a partir de (Quinaz, 2020, p.120)]

“A pedra transformada em arte é uma das mais belas expressões artísticas do mundo civilizado emociona-nos, traz-nos conforto, oferece-nos uma moldura cultural, envolve-nos em algo que nos enriquece o espírito e nos eleva a nossa condição Humana.” (Pinto et al., p. 9)

É possível constatar que a pedra desempenhou um papel essencial na evolução da arquitetura portuguesa, constituindo um verdadeiro marco histórico ao longo dos séculos. A sua escolha deveu-se sobretudo à resistência e durabilidade, o que justificou a sua ampla utilização em castelos, catedrais e muralhas, obras destinadas a perdurar no tempo.

Para além de assegurar a permanência das construções monumentais, a pedra funcionou também como veículo de transmissão de saberes construtivos e identitários, refletindo valores culturais e técnicos de cada época. A continuidade do seu uso justifica-se pelas qualidades intrínsecas do material e pela sua capacidade de adaptação a diferentes sistemas estruturais.

2.2| Pedra como material estrutural após a Revolução Industrial

A Revolução Industrial representa um marco de transição decisivo para a arquitetura e para a construção civil, possibilitando o surgimento e a utilização de novos materiais. É na Revolução Industrial que materiais metálicos surgem como novas soluções devido à sua capacidade de resistência à tração. A arquitetura antecedente à introdução deste material era definida por arcos e abóbadas, uma vez que era a única maneira sustentar de forma eficiente um edificado. Este modo de construção fez com que o uso da pedra enquanto material estrutural caísse em desuso, devido a incapacidade que tinha de desenvolver novas formas quando comparada às necessidades requeridas pela arquitetura moderna.

A Revolução Industrial teve início na segunda metade do século XVIII e estendeu-se até ao início do século XIX, durante a qual a população trocou a vida de campo pela citadina na procura de uma melhor qualidade de vida. É nesta época que se faz sentir um desenvolvimento tecnológico, marcado pelo aparecimento de novas ideias, sendo os novos materiais e o aperfeiçoamento dos existentes de especial interesse para a arquitetura e a construção civil, resultado da industrialização. É por todos os fatores referidos, que neste subcapítulo vai ser abordado o betão armado, a sua história e os motivos do seu êxito. (Viseu, 1993)

Importa distinguir o opus caementicium utilizado na época romana do cimento Portland moderno. Embora os romanos recorressem a misturas à base de cal e materiais pozolânicos com propriedades hidráulicas, o cimento Portland apenas surge no século XIX, sendo patenteado por Joseph Aspdin em 1824. Este avanço tecnológico permitiu o desenvolvimento do betão moderno, cuja homogeneidade e resistência possibilitaram, posteriormente, a introdução do ferro na sua composição e o aparecimento do betão armado. (Viseu, 1993)

A nomenclatura foi atribuída em razão da semelhança visual que o material apresenta, após a solidificação, com a pedra calcária extraída da ilha de Portland. Este material é composto por sílica, cal, ferro e alumínio, que por sua vez são triturados, moídos, porcionados e misturados, no final, esta mistura é colocada num forno com temperaturas de 1400°C a 1600°C, tendo como resultado a escória de cimento. Após arrefecer junta-se gipsita, processo que dá origem ao que se denomina atualmente de pó do cimento, que necessita de água para desenvolver as reações químicas que permitem solidificar, *“solidificam e endurecem numa massa parecida com a pedra”*. Em 1871, uma fábrica

em Coplay, produziu o primeiro cimento “portland” nos Estados Unidos.(Viseu, 1993, p. 36) (*Como construir com betão, tijolos e pedras*, 1990; Viseu, 1993)

A definição do material dá-se em 1887, com Henry Le Châtelier³, cuja tese de doutoramento descreve o betão enquanto uma mistura de dois elementos, agregados e pasta. A pasta é o cimento “portland” com água, responsável pela ligação entre os elementos agregados como a areia ou a pedra esmagada. (Viseu, 1993)

O betão suporta forças de compressão, no entanto, não é capaz de desenvolver a função estrutural, sem o aço, não apresenta resistência à tração fica dependente da relação entre forma e forças. Desta maneira, o seu uso era empregue na conceção de arcos e no preenchimento interior das paredes de alvenaria em pedra ou tijolo de grandes espessuras. (*Como construir com betão, tijolos e pedras*, 1990; Ferreira, 1989)

O ferro⁴ possibilitou vencer grandes vãos, assim como desenvolver novas coberturas compostas por estruturas de ferro e vidro. Ambos os materiais são resultado da Revolução Industrial, marcada também pela diminuição do tempo de construção. No período 1820 a 1850 eram usadas armaduras de ferro no betão, contudo apresentavam um problema, a falta de resistência à corrosão. (Silva, 2021; Viseu, 1993)

No ano de 1850, a indústria siderúrgica apresenta o aço, uma mistura entre ferro e o carbono. É após este momento que se verifica a capacidade de transformar a conceção arquitetónica, devido a duas propriedades mecânicas, o facto de ser flexível, facilmente transportado, além de ser resistente à corrosão enquanto é envolvido pelo betão. São estas características que permitem criar obras de maiores dimensões resistentes à tração, como por exemplo, a ponte de Brooklyn [Fig.15] em Nova Iorque, inaugurada em 1869, que alcançou 1834m de vão suspenso devido aos cabos de aço. (Silva, 2021)

³ Henry Le Châtelier (1850-1936) - químico e metalurgista francês desenvolve técnicas relacionadas com o uso do ferro na construção civil.

⁴ Ferro- material natural extraído pelo minério.



Figura 15| Ponte Brooklyn, Nova Iorque (Bary, 2015)

Embora existam experiências anteriores com a associação entre o betão e elementos metálicos, é no início do século XIX que o betão passa a integrar ferro de forma mais sistemática. Em 1848, o francês Joseph Monier validou esta associação durante a conceção de um barco [Fig.16] em betão armado, demonstrando o aumento da resistência do material. Nos anos seguintes, a aplicação deste sistema estendeu-se ao desenvolvimento de pavimentos, coberturas e pequenas edificações, evidenciando o potencial da junção entre betão e ferro para a arquitetura. (Ferreira, 1989; Viseu, 1993)

Em 1867, motivado pela potencialidade da sua experiência, Joseph Monier deu início ao processo de patente do betão armado. Posteriormente, este sistema foi desenvolvido e sistematizado por François Hennebique⁵, que introduziu métodos de cálculo e soluções estruturais que permitiram a sua aplicação em edifícios de maior escala, consolidando o betão armado como um material estrutural fundamental da arquitetura moderna. (Ferreira, 1989; Viseu, 1993)

⁵ François Hennebique (1842-1921) engenheiro e construtor francês pioneiro no desenvolvimento do uso do betão armado na construção civil.



Figura 16| Barco de Betão Armado (Henry, 2012)

Enquanto no estrangeiro o uso do betão armado já se consolidava em larga escala, em Portugal a sua aplicação ocorreu mais tarde, apenas em 1898, na reconstrução de uma fábrica de moagem de trigo no Caramujo, em Cova da Piedade. Seis anos depois, foi construída a primeira ponte em Vale de Meões [Fig.17], coincidindo com a conclusão, em Paris da Garagem Ponthieu [Fig.18], projetada por Auguste Perret⁶, onde o betão armado assumia papel central e a ornamentação das fachadas modernistas. Assim, Portugal manteve-se mais de cinquenta anos em atraso na utilização do betão armado, enquanto outros países já avançavam para um novo estilo arquitetónico. (Ferreira, 1989; Viseu, 1993)



Figura 17| Primeira Ponte de Betão Armado em Portugal (Vieira, s.d.)

⁶ Auguste Perret (1874-1954) Arquiteto francês conhecido pela modernização da construção e exploração estética do betão armado.



Figura 18| Garege Ponthieu (*Garage Ponthieu rue Ponthieu Paris 8 Auguste Perret, s.d.*)

Em Portugal, data do ano 1895, surge a primeira fábrica de produção de cimento “portland”, em Alhandra. Esta produzia 7 mil toneladas por ano, a capacidade de produção elevada permitiu-lhe exportar este material para o estrangeiro. A necessidade de mão de obra desencadeou o nascer de bairros operários, responsáveis por alterar o desenho urbano de um território.(Ferreira, 1989)

O aumento da exportação em 1930, fez requerer a implementação de um caderno de encargos, surgindo o primeiro regulamento sobre o betão armado na França, a 20 de outubro de 1906. Posto isto, em 19 de julho de 1934 verificaram-se necessidades sobre as quais o primeiro regulamento não dava resposta, forçando a redação de um novo documento. Nesta fração temporal o Ministério das Obras Públicas da Prússia na Alemanha regeu as primeiras normas mundiais para o cálculo e a construção de obras em betão armado, que por consequência fazem surgir o primeiro regulamento em 1907, sendo aprimorado até 1932. (Ferreira, 1989; Viseu, 1993)

A regulamentação neste setor em Portugal dá-se em 1918 e na segunda versão mais aprimorada em 1935, tomando como base o regulamento alemão de 1932, uma vez que

era considerado o mais moderno e completo até então. Com o desenvolver de estudos nesta matéria despertam a criação de novos regulamentos no Brasil, Rússia, Áustria e Portugal no ano de 1967. No decorrer dos anos surge no país lusitano uma nova documentação relativa ao betão armado pré-esforçado. Antes do aparecimento das normas para o betão armado, não existiam regulamentos dedicados à construção em pedra, apesar de esta ser um material utilizado há muito mais tempo.(Ferreira, 1989; Viseu, 1993)

O crescimento da construção em betão armado fez-se sentir, sendo evidenciado nos livros e revistas da época. O facto de este se expandir fez com que os estudos sobre o mesmo aumentassem, conseguido assim saber as suas vantagens, uma delas sendo a resistência ao fogo. Em 1953 foi criado o C.E.B., uma assembleia europeia dedicada ao estudo do betão armado, responsável por desenvolver métodos de cálculo da sua elasticidade e da previsão do momento de rutura. (Viseu, 1993)

Com o acréscimo de produção e listas de espera, inicia-se uma corrida pela procura de respostas à falta de disponibilidade imediata. Obtém-se como resposta a pré-fabricação, capaz de solucionar as premissas de logística impostas pelo betão armado, conseguindo dar rapidamente resposta, através do fornecimento do material em peças repetidas e capazes de se unirem umas às outras. Este novo método de aplicação demanda uma menor quantidade de mão de obra, ou seja, a pré-fabricação resume-se à produção em série, aproveitando a mesma cofragem para vários produtos iguais.

Monier, além de ter criado o betão armado foi também o responsável pelo desenvolvimento do betão pré-fabricado, ao criar uma segunda versão do barco em betão armado. Anos depois, em 1892 na França é construído o Casino de Biarritz [Fig.19] com elementos pré-fabricados em betão armado, embora esta prática apenas se tenha feito sentir no século XX, já se produziam lajetas e vigotas que eram usadas em coberturas. A pré-fabricação, continuou-se a desenvolver nos anos 1950 a 1993, tanto em Portugal como no estrangeiro, conseguido criar elementos pré-fabricados de betão pré-esforçado. (Ferreira, 1989; Viseu, 1993)

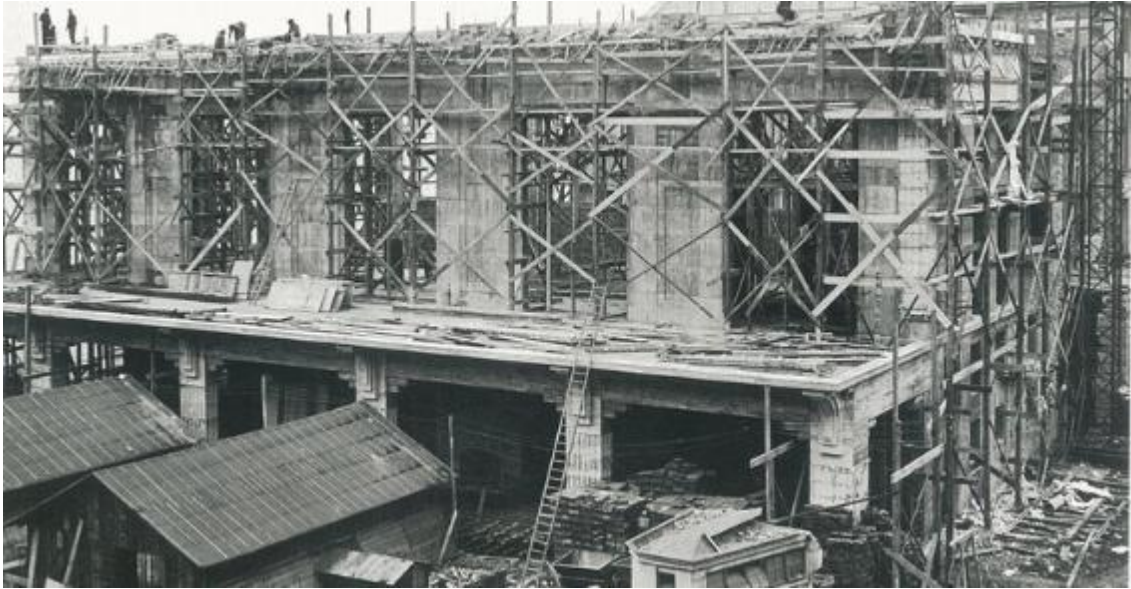


Figura 19| Casino de Biarritz (Casino municipal, s.d.)

O betão pré-esforçado é o resultado da ação de pré-esforçar os elementos de betão, no qual são gerados esforços ou tensões contrárias as que provêm das ações provenientes do próprio peso e das sobrecargas da peça, resultando numa maior rigidez e a capacidade de carga com peças mais esbeltas, para além de vãos maiores, inviáveis em betão armado.

O betão armado foi o elemento de charneira na conceção arquitetónica, possibilitando a criação novos estilos arquitetónicos que eram ousados para a época. A formalização de novas silhuetas são fruto do trabalho realizado entre arquitetura e a engenharia, que exploram a sua capacidade ao limite conseguindo peças únicas e impossíveis de realizar até então com os materiais existentes.

2.2.1| Predominância do Betão Armado

Nesta secção, vão ser expostos os motivos pelos quais o betão armado teve tanto sucesso desde o seu surgimento até aos dias de hoje e as características que o levaram a ter êxito.

“A estreita relação entre o homem e o território, conquistada ao longo de milhares de anos, traduzida na especificidade das formas dos objetos, das técnicas de trabalho da pedra e da perfeita combinação entre forma e função, alterou-se profundamente após a revolução industrial e muito particularmente a partir de meados do séc. XX. Com o desenvolvimento científico, o positivismo subjacente e a descoberta de novos materiais de construção como o ferro, betão, vidro [...] Neste contexto a pedra perde importância como material estruturante, passando a destacar-se como material decorativo ou de acabamento”
(Pinto et al., p. 12)

A Revolução Industrial foi marcada por uma alteração de realidade onde as pessoas deixaram as aldeias e vieram para as cidades à procura de trabalho nas indústrias. Surgiu a necessidade de suportar grandes pesos, como o da máquina a vapor, bem como a elevada densidade de pessoas nos espaços. O combustível utilizado para o funcionamento das máquinas era o carvão, cujo uso e armazenamento aumentavam o risco de incêndios nos edifícios fabris, conduzindo à adoção de materiais mais resistentes ao fogo. Neste sentido, o betão armado foi imprescindível no acontecer da Revolução Industrial, suprimindo todas as problemáticas que lhe estavam inerentes até ao momento.
(Toscano, 2012)

“A urgência de equacionar soluções construtivas conciliadoras da instalação de grandes e pesadas máquinas articuladas entre si por complexos sistemas de transmissões exigiam amplos e seguros espaços pensados exclusivamente para a máquina. As técnicas cada vez mais modernas conduziram à criação de edifícios servidores de um tempo que se queria rigoroso, mecânico e matematicamente marcado pelo ritmo da produção e dos cada vez mais ajustados gestos dos operários.”
(Toscano, 2012, p. 80)

O uso do material desencadeia o edificar da primeira fábrica concebida em betão armado em Portugal, a fábrica de moagem de trigo do Caramujo em 1898 [Fig. 20]. Esta teve de ser reconstruída devido a um incêndio [Fig.21], no ano anterior, forçando substituição

da pedra e da madeira pelo betão armado, que permitiu ao arquiteto António Gomes explorar novas possibilidades no que diz respeito à forma e aos vãos. (Toscano, 2012)

O seu uso permitiu a criação de grandes espaços amplos, apenas pontualmente interrompidos por pilares esbeltos. A laje passou a ser capaz de suportar cargas mais elevadas e, entre as inovações introduzidas, destacou-se a criação de um terraço na cobertura. A escolha deste material deveu-se à sua capacidade de permitir uma rápida reconstrução do edificado, aliada ao facto de ser leve, económico e resistente ao fogo, características essenciais para a produção da fábrica. Os critérios adotados na reconstrução da fábrica introduziram novas técnicas construtivas em Portugal, que passaram a ser replicadas noutras fábricas e em diferentes tipologias edificadas, contribuindo para a consolidação de uma arquitetura de carácter fabril. (Toscano, 2012)



20



21

Figura 20| Fábrica do Caramujo antes do incêndio (Toscano, 2022)

Figura 21| Reconstrução da Fábrica do Caramujo (Wikimedia, 2009)

O betão armado desempenhou um papel fundamental para o pós-guerra da Primeira Guerra Mundial, no qual despoletou uma crise habitacional. A facilidade de execução e baixo custo tornam-no o material mais usado da época, ficando assim associado pelo desejo da mudança e a modernidade. (Silva, 2021)

“O Dom-ino como um kit para habitações, para ajudar à rápida reconstrução de Flandres, destruído pela guerra. Jeanneret esperava, de forma otimista, que a guerra terminaria rapidamente, e o seu ideal era produzir em série um conjunto básico de componentes, inclusive as formas necessárias, para fazer uma estrutura de concreto independente, com seis pontos de apoio e lajes em balanço. A trama da casa poderia, dessa forma, estar pronta em menos de três semanas, e a caliza obtida em edificações destruídas poderia ser usada nas paredes. Janelas e acessórios, todos produzidos em série, seriam modelados conforme os precedentes locais e inseridos na estrutura.” (Curtis, 2008, p. 84)

O betão armado deu início à arquitetura contemporânea, não sendo necessário estar subjogado às formas de arcos e abóbodas. Os sistemas construtivos que normalmente eram em pedra são postos de parte, sendo substituídos por novos materiais que continham um modo de conceção distinto, sendo acessível e rápido de aplicar. (Silva, 2021)

A utilização do betão armado avançou a um ritmo acelerado impulsionada por empreiteiros, arquitetos e engenheiros, que reconheceram que, nas construções em que o betão armado é utilizado, existem benefícios significativos em termos de tempo de execução e de custos da obra. Desta forma, estabeleceu-se um ciclo contínuo: se a indústria e os empreiteiros apresentam orçamentos mais baixos para obras que recorrem ao betão armado, o cliente tende a aceitar essa solução, muitas vezes sem considerar a existência de outros materiais. (*Como construir com betão, tijolos e pedras*, 1990)

Para além dos benefícios orçamentais do betão armado, este consegue atingir várias formas que o torna um grande potencial a nível estético para a arquitetura. Estas vantagens tornam-se as justificações para o desuso da pedra enquanto material estrutural que não podia concorrer com o betão armado devido às suas limitações tecnológicas da época. (*Como construir com betão, tijolos e pedras*, 1990)

O betão armado apresenta várias características vantajosas tais como:

- maior resistência a cargas elevadas;
- fácil adaptação a formas irregulares, devido à sua flexibilidade;
- grande aderência recíproca;
- impede a oxidação do ferro;
- resistência ao fogo;
- mais económico e durável;
- execução rápida;
- custo de conservação baixo. (Viseu, 1993)

Este material apresenta características determinantes para a sua evolução na arquitetura, embora também revele algumas desvantagens:

- dificuldade na demolição quando necessária numa ampliação de uma construção;
- mau condutor térmico e acústico;
- sofre com ação corrosiva de agentes químicos, ação atenuada ou anulável;
- apresenta fissuras. (Viseu, 1993)

“Inicialmente considerando e apenas aceite como material de substituição, sucedâneo quase herético, parente pobre pedra, da madeira e do ferro, o betão armado começa por ser utilizado em situações menores, estruturas secundárias que lhe permitiam expor a rudeza da sua epiderme não revestida, ou então, protegido das críticas mais violentas, por sobreposição de elementos ornamentais, que a preferência estética consagrara historicamente” (Ferreira, 1989, p. 37)

Em suma, o betão armado não veio apenas substituir a pedra pela sua resistência à tração, mas também pela sua facilidade e rapidez de montagem ao contrário das obras em pedra, que demorava anos para serem terminadas, necessitando de uma elevada mão de obra para a sua execução. Foi com este material que a arquitetura se transformou e teve uma evolução.

2.3| Revolução da Sustentabilidade

Neste subcapítulo, será abordado o contexto do mundo pós-Revolução Industrial, destacando tanto os avanços que impulsionaram a evolução da sociedade. Foi a partir desta mudança de realidade que começaram a surgir as alterações climáticas derivadas do aumento de poluição, desmatamento de florestas e queima de combustíveis.

No decorrer do século XX, ocorreram várias transições económicas, tecnológicas e sociais, sucederam-se duas guerras mundiais e existiu um enorme aumento da indústria. A humanidade preferiu priorizar os valores económicos em vez dos ambientais, estes acontecimentos tiveram como base o carbono e extração de recursos. (Caramelo, 2017)

Para o desenvolvimento de aglomerados foram destruídos ecossistemas e a poluição fez-se sentir drasticamente, isto levou ao aumento da pegada de CO₂ que por sua vez alterou o planeta. Com o aparecimento do efeito de estufa⁷, das alterações climáticas, dos desastres naturais, do aquecimento global e do aumento de nível do mar gerou-se uma crise ambiental em curso. (Caramelo, 2017; Cristóvão, 2016)

“As alterações climáticas globais, o esgotamento de recursos, a poluição, a destruição de ecossistemas, a extinção de espécies, a deterioração da qualidade de vida, e a fraca equidade no acesso a recursos e ao conhecimento demonstram que os padrões que regem as atividades humanas se estão a tornar insustentáveis em termos sociais, económicos e ambientais. Os aglomerados urbanos destacam-se como pontos críticos, onde a concentração de milhões de habitantes coloca em risco o próprio futuro da urbanidade” (Mourão & Pedro, 2012, p. 5)

Em 1896, Svante Arrhenius⁸, levantou a hipótese de que as ações humanas estariam a provocar o aumento das emissões de carbono. Já na década de 1970, a política internacional iniciou estudos sobre cidades sustentáveis e, com o envolvimento de organizações como a ONU, foi possível influenciar o comportamento de diversos países, que passaram a adotar medidas para reduzir a poluição.(Caramelo, 2017; Edwards, 2010)

Para que o mundo voltasse à normalidade, a humanidade tinha de mudar a sua mentalidade para um lado mais sustentável, com criação de medidas para haver um equilíbrio entre o Homem e o Ambiente. Surge em 1987 o conceito de sustentabilidade,

⁷ Efeito de estufa- provém do aumento da temperatura, no fim do século XXI ocorreu um aumento entre 2°C e 5°C da temperatura média do planeta (Caramelo, 2017, p. 19)

⁸ Svante Arrhenius (1859-1927) - químico sueco

no relatório “Our common future” realizado por WCED, que foca no equilíbrio entre a produção e a utilização dos recursos naturais, para que a sociedade não destrua o meio ambiente e este possa ser preservado em benefício das comunidades futuras. (Caramelo, 2017; Cristóvão, 2016)

“Nunca como agora os efeitos imediatos dos padrões de consumo da civilização humana, revelaram dimensões de natureza intergeracional e intergeográfica tão evidentes, produzindo consequências noutros países e afectando futuras gerações” (Torgal & Jalali, 2007, p. 1)

A sustentabilidade surge na tentativa de sensibilizar a população acerca da destruição do ecossistema, para que haja uma preocupação de prevenção do meio ambiente, simultaneamente conseguir promover um bem-estar social sem ultrapassar as capacidades do ambiente. No ano 1990, verificou-se elementos base para o desenvolvimento sustentável “a sustentabilidade baseia-se em três elementos - social, económico e ambiental” [Fig.22]. (Caramelo, 2017, p. 29) (Caramelo, 2017; Cristóvão, 2016)



Figura 22 | Esquema demonstrativo dos elementos da sustentabilidade (Caramelo, 2017, p. 30)

“O conceito de sustentabilidade atual procura a redução de impactos ambientais através da redução do consumo de recursos e produção de resíduos, assim como da preservação da função e biodiversidade de sistemas naturais. De forma que o consumo de energia, água e materiais ocorra a uma taxa passível de renovação e sem impactos ambientais significativos” (Caramelo, 2017, p. 32)

O crescimento acelerado da população exigiu uma rápida expansão da construção e das infraestruturas, muitas vezes sem considerar a escassez dos recursos naturais. Como consequência, o setor da construção tornou-se o maior emissor de dióxido de carbono para a atmosfera. Em 2023, cerca de 34% das emissões globais de carbono foram atribuídas à construção, sendo aproximadamente 26% resultantes da produção dos materiais utilizados, dos quais 5% correspondem ao cimento, aço e alumínio, e mais de 3% ao vidro e ao cimento. (United Nations Environment Programme & Global Alliance for Buildings and Construction, 2025)

“No século XXI a globalização, o crescimento da população, as alterações ambientais e o progresso tecnológico serão os fatores mais determinantes do rumo da evolução da habitação e do ambiente construído em geral, tanto nos países em vias de desenvolvimento como nos países desenvolvidos” (Mourão & Pedro, 2012, p. 200)

O setor da construção polui desde o início da execução da obra, com a realização de terraplanagem ou com a demolição de edifícios, seguidamente as emissões libertadas pela obra provêm essencialmente da escolha do material. Para além da construção da obra, os seus gastos energéticos, manutenção e gestão também vão ter um impacto ambiental. A obra não deve ser apenas projetada para ser esteticamente valorizada, mas também é necessário pensar no impacto que essa vai ter nos ecossistemas, pensar numa arquitetura sustentável. (Cristóvão, 2016)

Os materiais que mais poluem são o betão e o aço, utilizados maioritariamente pelas indústrias de construção. A indústria do cimento em 2018 emitiu cerca de 1.557 bilhão de toneladas de CO₂ para atmosfera, já a produção do aço liberta 7 a 9% do CO₂ global. Existe a necessidade urgente de alterar os materiais comumente utilizados para outros mais sustentáveis com a madeira e a pedra. (Kerr, Rayburg, Neave, & Rodwell, 2022)

Mundialmente a indústria da construção consome 50% de matéria-prima do que qualquer setor industrial. Para além de produzir 40% de resíduos sólidos, gasta 40% de

consumos energéticos e emite aproximadamente 30% de gases nocivos⁹ para o ambiente. Em Portugal, o setor da construção despende de 22% dos recursos energéticos e 6.7% de água potável, gera cerca de 420 milhões de m₃ de águas residuais e 7.5 milhões de toneladas de resíduos.(Caramelo, 2017; Edwards, 2010; Ramos, 2015)

Para combater esta problemática, surgiu em 1994, na Flórida a primeira conferência internacional organizada por RMI, na qual foi definido o conceito construção sustentável. Este conceito tem em consideração o ciclo da vida e valorização pelos recursos de materiais, solo, água e energia, com o objetivo de a construção coexistir com o meio ambiente. Desde então, os avanços na construção não ocorreram em ritmo compatível com a urgência do problema, sendo fundamental o esforço concebido de engenheiros, de arquitetos e da indústria.(Caramelo, 2017; Cristóvão, 2016)

“Definindo como sustentável o edifício que minimiza os impactes adversos sobre os ambientes natural e construído, quer à escala do edifício e do aglomerado urbano envolvente, como também à escala regional e global” (Caramelo, 2017, p. 39)

Na procura por uma construção sustentável existem conceitos e princípios¹⁰ relevantes para isso se tornar possível. Os conceitos iniciam-se pelo “respeito ambiental”, minimizar os impactos negativos das diversas fases da construção; reutilização, reciclagem de materiais e redução do consumo de recursos. De seguida é tida em consideração a “qualidade do projeto” na qual se deve dar importância aos materiais e soluções construtivas que vão ser utilizadas e eliminar materiais tóxicos, “a escolha apropriada de materiais de construção pode reduzir em cerca de 17% a energia gasta na construção do edifício”. Por fim a “gestão económica” no pensar no futuro do edifício, o consumo de energia e sua manutenção. (Caramelo, 2017, p. 22)(Caramelo, 2017; Cristóvão, 2016)

“Refere-se, a nível europeu o incentivo à reutilização, reciclagem e recuperação de 70% dos resíduos de construção e demolição, até 2020 (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2008), e a redução de 80 a 95% das emissões de gases de efeito de estufa, até 2050. (Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, 2012)”(Caramelo, 2017, p. 22)

⁹ Gases nocivos- vários tipos de gases prejudiciais para a saúde humana e para o meio ambiente.

¹⁰ Os conceitos e princípios de uma construção sustentável podem alterar consoante o país.

Para além destes conceitos, existem alguns princípios [Fig.23] que foram abordados no projeto da OCDE, que focam nas prioridades da construção sustentável:

- “Uso eficiente dos recursos;
- a eficiência energética;
- a prevenção da poluição;
- a harmonização com o ambiente;
- a abordagem integrada e sistemática dos aspetos da construção alusivos ao desenvolvimento sustentável.” (Caramelo, 2017)



Figura 23 | Ciclo da vida dos edifícios (Caramelo, 2017, p. 52)

Em suma é necessário ter atenção as escolhas dos materiais e os métodos construtivos, estas simples práticas podem afetar o meio ambiente vulnerável. Talvez seja necessário analisar o modo como antigamente as construções eram realizadas de forma a minimizar as alterações climáticas e o aquecimento global, para que seja possível preservar o meio ambiente e território.

2.3.1| O Retorno da Pedra

Nesta secção, será abordada a sustentabilidade da pedra como solução para a construção. A análise baseia-se em diversos estudos que comparam a emissão de carbono da pedra em relação a outros materiais construtivos, considerando toda a sua pegada carbónica, desde a produção até à colocação na obra.

Com o avanço da tecnologia e da globalização, o uso da pedra na construção sofreu uma transformação significativa. Tornou-se mais acessível, com a descoberta de múltiplas variedades de cores, texturas e acabamentos, e o seu uso deixou de depender exclusivamente da disponibilidade local. (Pinto et al.)

A vantagem por parte da tecnologia é visível na facilidade de extração, de corte, de furação, do seu deslocamento, transações entre países e novas técnicas mais fáceis de montagem. O aumento da extração gerou impactos ambientais e visuais na paisagem, aumento da poluição hídrica e atmosférica, também associado ao transporte da pedra para o local de produção e da obra. (Pinto et al.)

A pedra está inserida na *green list*¹¹, uma vez que a sua eficiência energética, o seu tratamento de resíduos implementado de forma generalizada pela indústria e a baixa emissão de CO₂ se enquadram dentro dos parâmetros requeridos. The Green Guide ¹² atribui uma classificação de sustentabilidade aos projetos e aos materiais que estes são avaliados por um sistema que reflete o melhor desempenho e o seu impacto ambiental ao longo da sua utilização, neste sentido a pedra recebe a melhor classificação. («Natural Stone», 2011)

“Stone is therefore truly the oldest sustainable material and merits its place in any sustainable development.” («Natural Stone», 2011, p. 3)

Foi realizado um estudo pela SISTech e a Universidade de Heriot-Watt («Extraction and use of building and roofing stone- sustainability issues»), no qual se compara o carbono incorporado na pedra com outros materiais de construção, esses dados são visíveis na tabela seguinte [Tab.1] onde a pedra apresenta um valor mais inferior dos restantes. («Extraction and use of building and roofing stone- sustainability issues»; «Natural Stone», 2011)

¹¹ Green List- uma lista de materiais sustentáveis, para esta classificação necessitam de uma boa eficiência energética, produzir poucos resíduos e poluir pouco.

¹² The Green Guide- revista que publica artigos com informação de uma vida saudável e ecologicamente consciente

Tabela 1| Tabela Pedra vs. outros materiais de construção [Adaptação de («Natural Stone», 2011, p. 6)]

Materiais construtivos	Tonelada kg/CO₂
Arenito	64
Granito	93
Mármore	112
Betão	130
Tijolos de argila	220
Ardósia	232
Tábua de madeira	450
Tijolos de face à vista	520
Cimento	830
Barra de aço	1710
Chapa de aço galvanizada	2820

O estudo foca nos países onde existe maior número de exportação neste setor, destacando-se Espanha, Polónia, Índia e China. A pedra usada no estudo foi exportada para a Escócia, foram avaliadas as instalações da sua extração, modos de transportes e zonas de produção. O resultado mostra que na Escócia a pegada de carbono do arenito e do granito, são mais baixos que aos outros materiais ainda que seja exportada de outras regiões [Fig.24] “64kg of Co2 equivalent (Co2e) per tonne of sandstone and 93kg per tonne for granite concrete 84” («Natural Stone», 2011, p. 4) («Extraction and use of building and roofing stone- sustainability issues»)

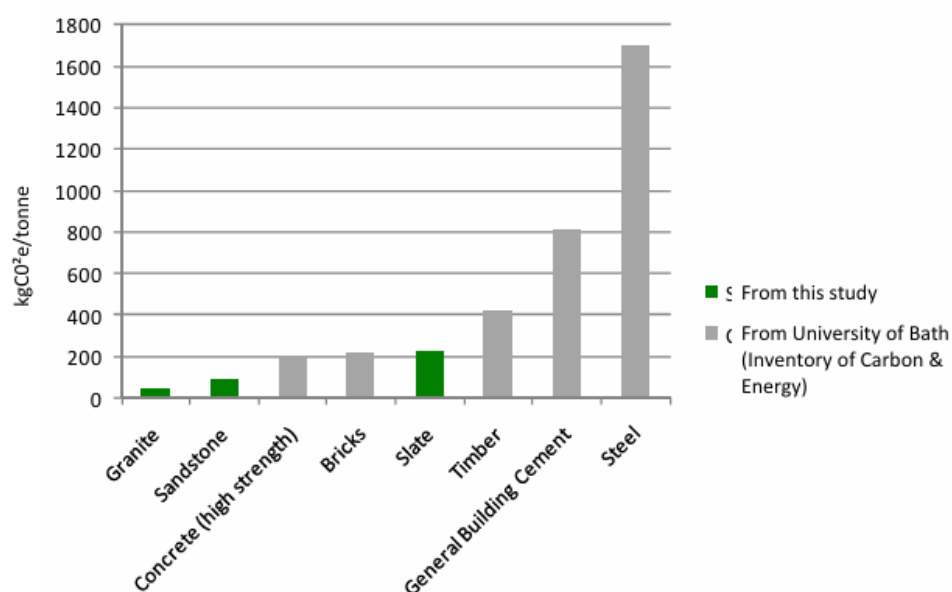


Figura 24- Gráfico sobre a incorporação do carbono nos materiais («Natural Stone», 2011, p. 4)

Além da comparação, este estudo analisa o carbono libertado consoante a sua classificação rochosa [Fig.25]. A conclusão recai que a extração não é o fator responsável pela emissão poluente, mas sim o seu transporte para o local de produção, de construção e os resíduos que esta gera ao ser trabalhada.(«Natural Stone», 2011)

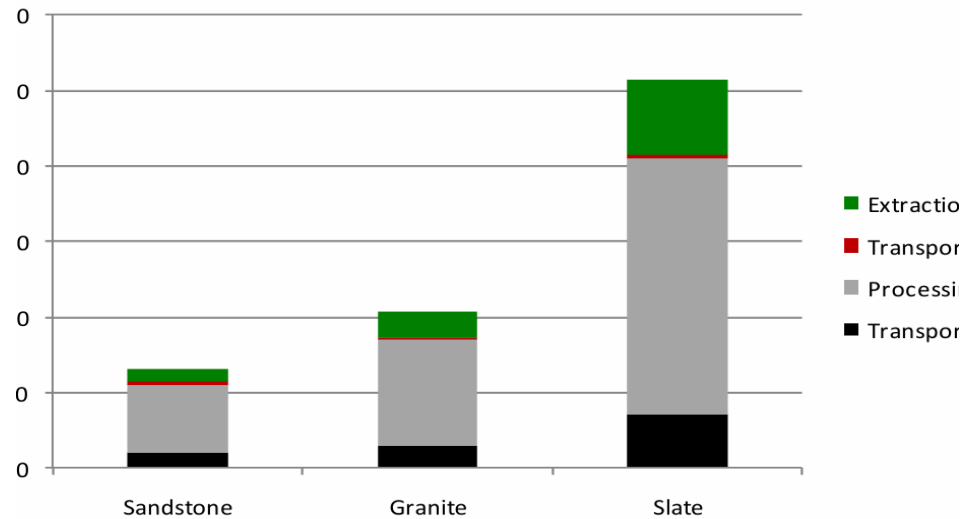


Figura 25- Gráfico com a diferença de CO2 entre tipos de pedras(«Natural Stone», 2011, p. 5)

“The area of the world’s land is 149 million km and the ocean is 361 million km. The average depth of the Earth’s crust on land is approximately 45 km and the oceans is 7.5 km, this gives a total volume of about 9 billion km³. The world extraction according to the USGS in 2007 was 1.39 million tonnes which at an average mass of 2.6 tonnes per m³ gives 0.53 km³. Assuming that 95% of the earth’s crust is unsuitable for dimensional stone, at the current rate of extraction we have enough dimensional stone to last for about 850 million years. This figure ignores the new stone which is being continuously made, probably at a much faster rate than the industry is extracting it.”(«Natural Stone», 2011, p. 6)

A ESF (English Stone Forum), organização que apoia a construção em pedra, realizou um artigo que aborda a reutilização da pedra, a reabilitação em vez da destruição de edifícios e nova construção em pedra. Realizou cálculos que mostram a emissão carbónica em relação a espessura das paredes. Para calcular a emissão carbónica é apresentada a equação “Material density = Density (kg/m³) X wall width (m)”, os resultados dos cálculos são apresentados na tabela [Tab.2], onde a pedra continua a ter os valores mais inferiores. («Extraction and use of building and roofing stone-sustainability issues»; «Natural Stone», 2011, p. 10)

Tabela 2| Tabela da densidade do material [Adaptação de («Natural Stone», 2011, p. 10)]

Materiais	Coefficiente energético	Densidade do material (kg/m²)
Pedra	1.0	216-452 (200mm pedra)
Tijolos de argila	3	176
Blocos de betão celular	3.5	100

A organização tem o objetivo de melhorar os níveis de sustentabilidade que a pedra apresenta, apesar de estes já serem favoráveis, querem intervir na reutilização de águas usada nos cortes, na produção e nas redes de transportes, no assegurar de uma construção com menor impacto ambiental.(«Extraction and use of building and roofing stone- sustainability issues»; «Natural Stone», 2011, p. 10)

O artigo “Natural Stone the oldest sustainable material” («Natural Stone», 2011) executado por Stone Federation Great Britain, afirma que para além de baixas emissões de CO₂, a construção em pedra tem custos baixos de manutenção e longa durabilidade. A pedra ajuda na eficiência energética dos edifícios devido apresentar uma vantajosa massa térmica, que torna os espaços mais agradáveis de habitar, uma vez que durante noite liberta o calor absorvido durante o dia, obtendo um equilíbrio na temperatura deixando obstante a necessidade de recorrer a equipamentos HVAC. («Natural Stone», 2011)

A pedra apresenta diversas vantagens, como sustentabilidade, insonorização, proteção contra incêndios, resistência à água e durabilidade. Estas qualidades são semelhantes às do betão armado, contudo, este revela-se bastante mais poluente em comparação com a pedra. Nesse sentido, a Stone Federation Great Britain incentiva a utilização da pedra na construção como forma de reduzir os impactos ambientais. («Natural Stone», 2011)

“Stone is already ahead of almost all building materials in its green credentials. This doesn’t mean the industry can rest. We will continue to innovate and drive the environmental costs of using stone ever downwards. Our message is clear. Stone is environmentally the right choice and will continue to be.”(«Natural Stone», 2011, p. 17)

A revista MDPI publicou um artigo “Comparative Analysis of the Global Warming Potential (GWP) of Structural Stone, Concrete and Steel Construction Materials”. O atual cenário de poluição excessiva proveniente do setor da construção, que recorre maioritariamente ao betão, ao betão armado e ao aço, tem motivado a procura de

alternativas mais sustentáveis. O artigo apresenta materiais capazes de mitigar este impacto, destacando a pedra como uma alternativa viável.(Kerr et al., 2022)

“Stone in its natural form is a zero-carbon emission material and has strong physical properties that make it a viable substitute for concrete and steel, across a range of applications” (Kerr et al., 2022, p. 1)

O estudo compara os dados de 11 declarações ambientais de produtos ¹³ que indicam o ciclo da vida de cada material e a emissão de carbono que libertam para o meio ambiente. A pedra como usada material estrutural dimensionada (135kg.CO₂/m³) liberta menos que 45% a 75% de CO₂ em comparação ao betão armado (246 a 514 kg.CO₂/m³). Quando comparada com os produtos siderúrgicos (22 294 a 29 202 kg.CO₂/m³) liberta menos de 99% de CO₂ (Kerr et al., 2022)

A realização do estudo leva em consideração todas as etapas da sua fabricação e uso de cada componente. A pedra é extraída de um grande bloco, sendo depois separada em frações mais pequenas e transportada para uma fábrica. O processo do betão e do aço são mais complexos e mais poluentes como explicados anteriormente, pois necessitam de fornos para a sua produção e esses emitem muito CO₂. (Kerr et al., 2022)

A tabela [Tab.3] demonstra que o acabamento da pedra, o seu tipo e a distância entre o local de extração e o tratamento, são as principais razões para a maior emissão de carbono associada a este material. Dos três materiais o betão é o mais poluente, sendo que para o betão armado é necessário adicionar o valor do aço. (Kerr et al., 2022)

Tabela 3| Tabela com fase de produção [Adaptação de (Kerr et al., 2022, p. 8)]

Produto	Emissão carbónica (kg.CO₂/m³)
Pedra -Uso ornamental	
Lajes de mármore	162
Lajes de calcário	242
Xisto de quartzito	272
Uso estrutural	
Xisto de quartzito	135
Betão	
Força=30 MPa	
Betão FCK 30 MPA BR.1 10 ± 2	267

¹³ Declarações ambientais de produtos- são documentos que fornecem detalhadamente informação sobre o desempenho ambiental ao longo do seu ciclo da vida

Mistura pronta com cimento Holcim	319
Mistura pronta genérica	246
Força=32 MPa	
Mistura geral	343
Força=35 MPa	
Mistura pronta com cimento Holcim	3551
Força=40 MPa	
Agilia™ Betão Pronto	373
Mistura pronta com cimento Holcim	386
Viga de aterramento pré-fabricada (100 kg de armadura de aço)	447
Força=45 MPa	
Mistura pronta com cimento Holcim	411
Mistura geral	405
Força = 50 MPa	
Mistura pronta com cimento Holcim (Normal)	444
Mistura pronta com cimento Holcim (Especial)	358
Mistura geral	514
Aço	
Vigas e pilares soldados estruturais	22.294
Seção estrutural laminada a quente	29.202
Aço comercial	11.932
Seção estrutural laminada a quente	26.062

Na fase de execução [Tab.4] a distância do transporte altera os resultados, no estudo foram levados uma distância padrão de 50 km. O betão armado em termos de aplicação produz menos CO₂ do que a pedra, a pedra precisa de argamassa, água e eletricidade, o betão encontra-se moldado ou já vem em betão pronto. É possível constatar que a pedra como material estrutural é menos poluente do que após ser trabalhada com a finalidade ornamental. Para esta fase do estudo é difícil obter uma conclusão, porque variação de projeto altera diversos parâmetros, além disso apenas 11 das declarações ambientais só 3 tinham dados sobre esta fase. (Kerr et al., 2022)

Tabela 4| Tabela da fase de execução [Adaptação de (Kerr et al., 2022, p. 10)]

Produto	Emissão carbónica do transporte (50 km)	Emissão carbónica instalação (kg.CO ₂ /m ³)
Pedra		
Uso ornamental		
Xisto de quartzito - espessura uniforme	9.2	108.8
Uso estrutural		
Xisto quartzito – superfície de fenda natural	9.2	62.7
Betão		
Força = 30 MPa		
Mistura pronta genérica	8.4	0.19
Força = 40 MPa		
Viga de aterramento pré-fabricada (100 kg de armadura de aço)	8.2	0.11

A soma dos resultados de todas as fases mostra que a pedra como material estrutural pode reduzir entre 35% e 45% das emissões de carbono em comparação com o betão armado com resistência de 40 MPa. As emissões de carbono estão associadas principalmente à produção do betão, enquanto a pedra apresenta a vantagem de já se encontrar pronta, necessitando apenas de extração, corte e transporte. (Kerr et al., 2022)

O artigo “Why the time is ripe for a return to stone as a structural material” (Webb, 2020) escrito por Steve Webb, evidencia o renascer. “On the one hand it’s not exactly lightweight and it has a finite availability. On the other, it’s an abundant, available, high strength material that can be chopped up and built with immediately.”. (Webb, 2020)

A disponibilidade da pedra, de acordo com artigo, é suficiente para fazer os edifícios do mundo inteiro. A fonte Global Cement and Concrete Association diz que a produção anual de cimento é cerca de 1.6 km³, através da resistência da pedra seria apenas necessário aproximadamente um quarto desse volume de pedra. “The Inventory of Embodied Carbon and Energy 2019 says ‘general stone’ has a carbon footprint of 0.079kg carbon per kg of stone. Concrete’s is 0.15kg/kg and steel’s 2.8kg/k” [Fig.26]. (Webb, 2020)



Figura 26- Emissão carbônica dos materiais (Webb, 2020)

“ The world over we crush rocks (like gabbro) into gravel. We dig up and pulverise limestone. In gas powered factories we burn the limestone to make cement. We dig up a lot of sharp sand. At state-of-the-art batching plants we mix them with water to make liquid concrete. With sophisticated algorithms and just in time management principals a fleet of wagons distributes it to building sites. Meanwhile we’ve laid out steel falsework and timber formwork. We’ve sprayed on releasing agent and laid rebar on spacer blocks. We pour on the concrete. We vibrate, level and float it and then wait. A week later we strip away the formwork; after 28 days we remove the falsework. Hey presto! Stone again! In two months we’ve turned a lump of 230N stone into a lump of 40N concrete.” (Webb, 2020)

Os produtos pré-fabricados de betão são um dos mais usados na construção, a sua conceção é feita fora do local de obra, o que leva a um controlo superior da qualidade do produto e da redução de desperdícios. Os produtores de betão têm procurado substituir alguns dos seus constituintes por alternativas menos poluentes, de forma a reduzir o impacto ambiental e aproximar o material dos critérios da *green list*. No entanto, mesmo com a diminuição da pegada carbónica ao longo das diferentes etapas de produção, os elementos pré-fabricados em betão armado continuam a gerar um impacto ambiental significativamente superior quando comparados com a pedra.(Vierra, 2022)

Enquanto o produto pré-fabricado em betão [Fig.27] exige a extração de minerais que, posteriormente, são transportados para a fábrica de cimento, um processo responsável pela emissão de grandes quantidades de gases nocivos, a sua produção ainda requer a criação de moldes e a incorporação de aço para garantir resistência estrutural. Importa salientar que também o aço necessita de ser produzido e transportado até às unidades de fabrico. (Vierra, 2022)

Em contraste, a pedra natural passa apenas por processos de extração, corte, acabamento e transporte. A sua utilização não implica a introdução de elementos químicos adicionais, não contém compostos orgânicos voláteis e, por isso, não liberta gases nocivos durante a sua transformação.(Vierra, 2022)

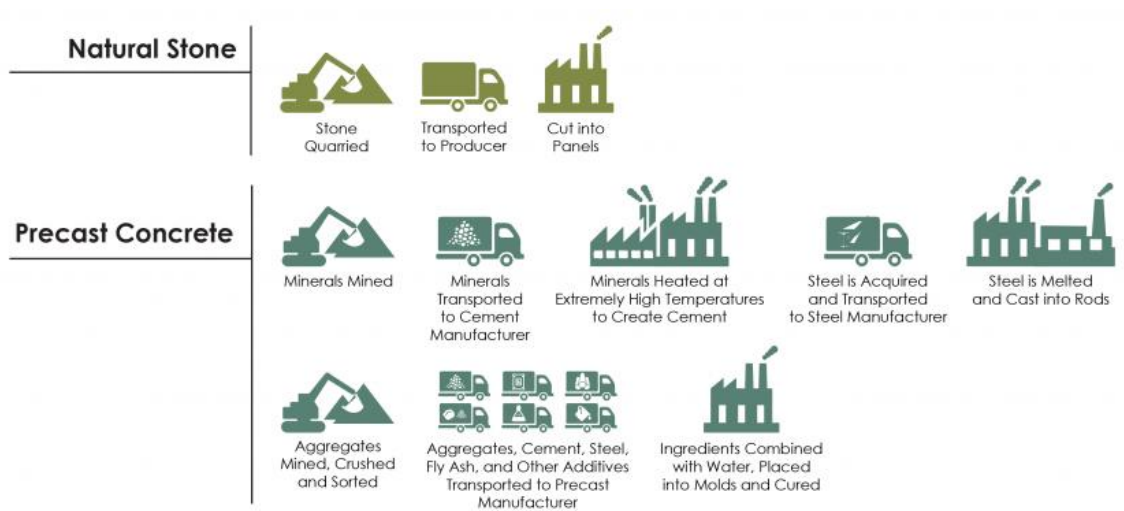


Figura 27- Comparação de produção de pedra e pré-fabricados de betão (Vierra, 2022)

A pedra apresenta uma vantagem que para uso estrutural não requerer qualquer acabamento, cor ou textura, o que ajuda nas emissões carbónicas. O seu uso pode ser diverso, é um desperdício utilizar um material tão resistente e sustentável apenas como decoração e revestimento. Não se pretende o abandono do betão armado, mas sim estabelecer uma simbiose no sentido estrutural do edifício, diminuindo o CO₂ que libertado durante as várias fases da construção.

Capítulo 3 | Construção em Pedra na Atualidade

Após a análise histórica e teórica da pedra enquanto usado como material estrutural, torna-se pertinente observar a sua aplicação na arquitetura contemporânea. A pedra tem vindo a recuperar a sua importância, devido à procura de materiais mais sustentáveis. Em Portugal, o granito destaca-se que motivou a realização de ensaios laboratoriais na Universidade da Beira Interior, que atraíram até alunos de Londres, e tem-se refletido também em iniciativas internacionais, como cursos e simpósios em instituições de referência, consolidando o movimento designado de *Nova Idade da Pedra*.

Assim, este capítulo abordará a realidade atual da utilização da pedra em dois cenários, global e territorial. No primeiro subcapítulo serão apresentados casos de estudo internacionais onde a pedra assume um papel como material estrutural na arquitetura contemporânea. Já o segundo subcapítulo incidirá sobre a forma como uma região pode destacar-se pelas propriedades vantajosas do seu granito.

O primeiro subcapítulo, é dividido em quatro secções cada uma respetiva a uma obra, a primeira obra é 15 Clerkenwell Close realizada pelo arquiteto Amin Taha e Groupwork, a Can Lis é a segunda obra projetada por Jorn Utzon. As obras finais a serem estudadas são concebidas pelo arquiteto Gilles Perraudin que serão a Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar e Pavillon D'accueil de la Carrière de Fontvieille.

O segundo subcapítulo encontra-se dividido em duas partes, centradas no granito de Castro Daire, reconhecido pela sua facilidade de corte e pela baixa pegada ambiental. A primeira parte aborda a atividade atual das pedreiras locais, com base numa visita de campo e investigação. Na segunda parte, analisa-se o mercado em que este granito é aplicado, destacando-se a aldeia de Cujó, onde se observa a evolução da identidade territorial marcada pelo granito ao longo dos anos.

Este capítulo estabelece uma comparação entre diferentes contextos de utilização da pedra, começando por uma perspetiva internacional e avançando para um enquadramento local. Considera-se que o surgimento de novos materiais veio colmatar, em determinadas épocas, as limitações da pedra. No entanto, com a evolução tecnológica e a crescente valorização da sustentabilidade, a pedra volta a assumir protagonismo, demonstrando a sua capacidade de responder às exigências da arquitetura contemporânea.

3.1| Referências Contemporâneas

Neste subcapítulo, apresentam-se quatro referências contemporâneas, que evidenciam o possível retorno da pedra. As referências têm diferentes programas, que se assemelham no uso da pedra com propósito estrutural.

O edifício “15 Clerkenwell Close”, projetado no atelier Amin Taha Groupwork em 2017 localizado em Londres, correlaciona funções de escritório e habitação em um único volume. A sua estrutura é caracterizada por um núcleo central em betão armado, que se complementa com uma fachada autoportante de pedra. A escolha do calcário para a fachada é fruto da inspiração no tradicional, uma forma de recuperar a memória e identidade da região. Apesar de não existir uma conexão com a envolvente, relaciona-se com a história do bairro onde o edifício está inserido.

A casa “Can Lis”, localizada em Maiorca realizada pelo arquiteto Jorn Utzon em 1973, integra a vida ao ar livre com a habitação, utilizando materiais locais a fim de manter a homogeneidade do contexto onde se insere. A estrutura vertical é concebida por paredes ou pilares em arenito, enquanto a estrutura horizontal é definida por vigas de betão pré-fabricado. A escolha dos materiais dos sistemas construtivos e dos pormenores, presa o respeito pela tradição local.

A moradia “Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar”, produzida pelo Atelier Achitecture Perraudin em 2018 na localidade Montélimar, mostra como a arquitetura pode enfrentar às alterações ambientais sem deixar de utilizar materiais sustentáveis. Os pilares são feitos por blocos de calcário enquanto as vigas são de madeira, a obra é mais elevada para precaver futuras inundações.

O “Pavillon d’Accueil de la Carrière de Fontvieille”, do Atelier Achitecture Perraudin realizado no ano 2024 na Fontvieille, dialoga entre a arquitetura e a pedreira, usando materiais extraídos do próprio local. A sua estrutura é de blocos de calcário autoportantes sobre uma base de betão armado e vigas de madeira no teto. O volume efêmero apoia os blocos, onde as juntas não têm qualquer argamassa, foram utilizadas de técnicas antigas num espaço contemporâneo, de forma a criar um ambiente que equilibra solidez, leveza e contemplação.

As referências demonstram que a pedra, além da sua durabilidade, resistência e carácter tradicional, pode ser usada de maneira inovadora na arquitetura contemporânea, sem limitações nas formas como arcos ou abóbodas. Quando empregue estruturalmente,

pode ser combinada com outros materiais para otimizar o desempenho das obras, além de criar uma inovação na estética da arquitetura em pedra.

3.1.1| 15 Clerkenwell Close

A obra 15 Clerkenwell Close realizada por Amin Taha¹⁴ Groupwork é um bloco habitacional em Londres, que combina a vida pessoal com o trabalho, com o pressuposto de economizar tempo em deslocações. O que levou a escolha desta obra foi a utilização de pedra como material estrutural na fachada.

O edifício situa-se num Bairro Pioneiro Wynd no coração da indústria de design de Londres, em frente da Igreja de St. James [Fig.28]. A obra era uma fábrica de fósforos que foi alterada, onde o elemento mais chamativo foi a fachada do edifício que causou uma grande estranheza para os habitantes devido à falta de conexão com a envolvente marcada por tijolos [Fig.29], “It’s probably the boldest, most forceful facade I’ve seen go up in the last decade of London’s brick diffidence”, foi tal audácia que esteve para ser demolido. (Murphy, 2018)

A fachada é o resultado de uma análise sobre a história do local, inserida numa área ao redor do bairro histórico Clerkenwell que foi erguido no século 11, nele existia uma abadia em calcário. Este material era a principal escolha da época, mas depois da Revolução Industrial e do renascimento do centro da cidade, apenas ficaram vestígios de alvenaria de calcário em algumas ruas e propriedades. (Griffiths, 2018; Murphy, 2018)

O projeto tem de área total de 2 mil m² distribuídos por 6 andares e 1 subterrâneo, com 8 apartamentos, o custo do edifício foi e 4.6 milhões de libras. Para além do arquiteto colaboraram no projeto: o empreiteiro JB Structures¹⁵; o engenheiro estrutural foi Webb Yates Enginners¹⁶; os engenheiros ambientais MLM Group¹⁷; o engenheiro acústico RBA Acoustics¹⁸; o arquiteto paisagista Todd Longstaffe-Gowan¹⁹; subempreiteiro de pedra The Stonemasonry Company²⁰ («15 Clerkenwell Close»; Wilson, 2019)

¹⁴ Amin Taha (1974) - arquiteto nascido em Berlin, mudou-se para Reino Unido com seus pais formou-se em arquitetura pela Universidade de Edimburgo. Depois de estagiar para diversos ateliers conhecido em 2003 abriu o seu próprio atelier Amin Taha Architects. (Pinheiro, 2014)

¹⁵ JB Structures - é uma empresa especializada em engenharia estrutural.

¹⁶ Webb Yates Enginners – empresa de engenharia premiada e reconhecida por trabalhar em grupo com arquitetos e construtores.

¹⁷ MLM Group – consultoria de engenharia e meio ambiente do Reino Unido.

¹⁸ RBA Acoustics – principais consultorias de acústica do Reino Unido.

¹⁹ Todd Longstaffe-Gowan – arquiteto paisagista reconhecidos por diversos projetos em UK

²⁰ The Stonemasonry Company – empresa de design, fabricação e instalação de escadas em pedra.



28



29

Figura 28 | Contraste do edifício com a Igreja St. James (Soar, T. 2017)

Figura 29 | Edifício com envoltivo (Soar, T. 2017)

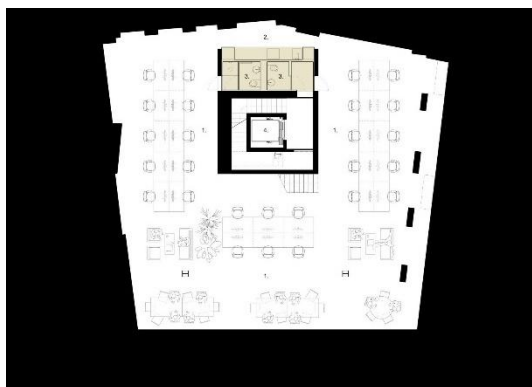
A tipologia centra-se em habitação e escritórios, a sua configuração tem uma forma similar a um quadrado, a sua estrutura é concebida pelo núcleo central [Fig.35] e pela fachada em pedra [Fig.34], tendo espaços sem pilares. O interior dos apartamentos revela é feito com recurso a poucos materiais, mostra a realidade estrutural do edifício, como o chão de cimento polido, as lajes estruturais e as paredes mestras são expostas. (Murphy, 2018)

O acesso é feito no piso 0 [Fig.31], tanto para os apartamentos como para o escritório. Do lado esquerdo é a entrada do escritório, percorrendo um claustro que existe na rua, entrando na ponte [Fig.36] que leva ao hall, no lado direito tem as escadaria metálica para o atelier, o lado esquerdo dá acesso a sala de reunião suspensa [Fig.36], apoiada por duas vigas I. O atelier encontra-se no piso -1 [Fig.30] com duplo pé direito, tendo um ambiente confortável de trabalho, com tons neutros e suaves, apenas existem 4 materiais pedra, metal, madeira e betão. («15 Clerkenwell Close»; Griffiths, 2018; Murphy, 2018; Wilson, 2019)

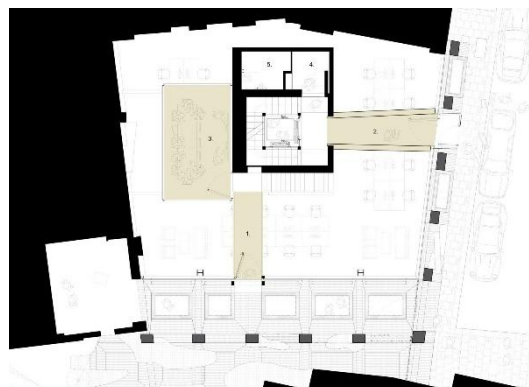
Os restantes andares são de habitação, acedidos do lado direito do edifício por um túnel que dá acesso ao núcleo central, onde se localizam as escadas e o elevador de vidro direcionado as entradas individuais. A fachada de pedra é visível ao olhar para o exterior, gerando um contraste com as paredes interiores, revestidas por carvalho [Fig.37]. (Griffiths, 2018; Murphy, 2018; Wilson, 2019)

“Textured concrete and the grain of oak may at first appear brutal by today’s standard developer convention of white-painted plasterboard walls, ceilings and laminate timber floors but it serves two purposes: it reduces material, labour and time costs in construction and related carbon footprint, while leaving occupants to decide whether to fill with decoration, leave preciously blank, or anything between.”. (Murphy, 2018)

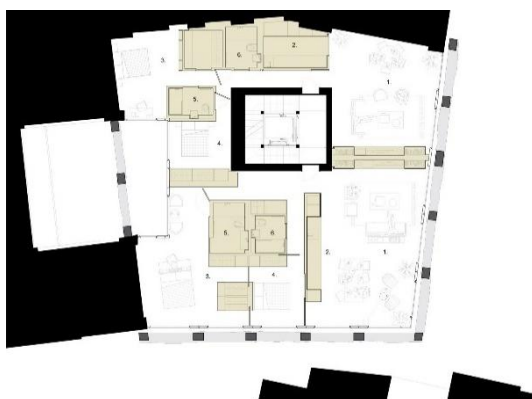
Na planta do piso 1 [Fig.32], existe um apartamento com a área social separada, sendo que cada compartimento possui entrada individual, permitindo aos habitantes separar a vida pessoal da social, algo conseguido através de paredes móveis. Nos pisos superiores [Fig.33], encontram-se dois apartamentos totalmente independentes, nos quais a possibilidade de alterar paredes limita-se ao interior de cada unidade.



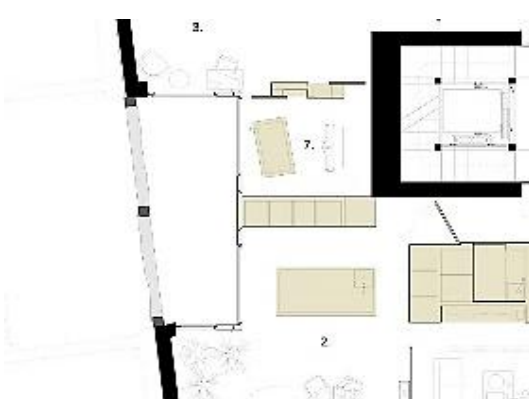
30



31



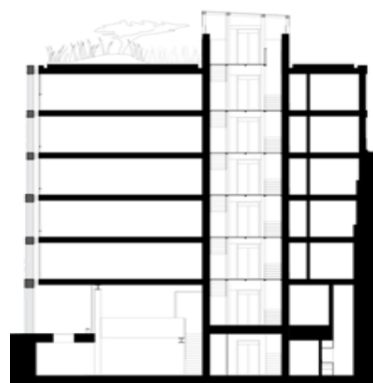
32



33



34



35

Figura 30| Planta piso -1 (Amin Taha Architects and Groupwork)

Figura 31| Planta piso 0 (Amin Taha Architects and Groupwork)

Figura 32| Planta piso 1 (Amin Taha Architects and Groupwork)

Figura 33| Planta piso 2 (Amin Taha Architects and Groupwork)

Figura 34| Alçado principal (Amin Taha Architects and Groupwork)

Figura 35| Corte (Amin Taha Architects and Groupwork)

A Pedra como Material Estrutural
na Arquitetura Contemporânea



36



36



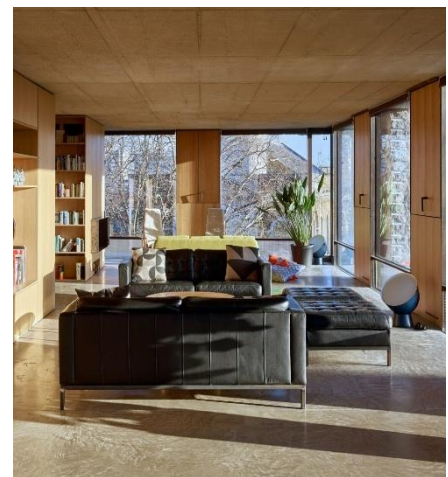
37



37



37



37

Figura 36| Interior do Atelier (Soar, T. 2017)

Figura 37| Interior dos apartamentos (Soar, T. 2017)

A pedra utilizada provém de uma pedreira [Fig.38] na região da Normandia, em França, que o arquiteto visitou pessoalmente para conhecer melhor o material. Os blocos apresentam um interesse mineral, sendo visíveis alguns fósseis, incluindo conchas de amonites espiraladas. “that add an even deeper layer of time to the building”. (Griffiths, 2018; Murphy, 2018; Wilson, 2019)



Figura 38| Corte das pedras usadas (Soar, T.)

A utilização da pedra não teve apenas um sentido nostálgico, mas também um fim estrutural e sustentável, reduzindo assim 90% do carbono que normalmente tem as típicas estruturas de aço ou betão, para além, de reduzir 75% dos custos da obra. As emissões carbónicas de CO₂ do projeto anual é de 7.8 kg/m². (Griffiths, 2018; Murphy, 2018; Wilson, 2019)

A fachada é uma estrutura autoportante, formada por uma grelha de colunas com 3.200 mm, posicionada ligeiramente recuada em relação ao edifício. O acabamento dos elementos estruturais varia, criando uma combinação de ordem e desordem que confere uma linguagem única, com blocos lisos, ásperos, perfurados ou simplesmente rachados. Esta ideia de colunas minimalistas remete para edifícios contemporâneos que utilizam o sistema construtivo trilito. “In introducing aspects of ‘poetry’ and the ‘sublime’, Taha gives this structural fundamentalism a unique twist”. («15 Clerkenwell Close»; Murphy, 2018; Wilson, 2019)

A ligação é feita [Fig.39 e 40] nas colunas e nas vigas através de um apoio de aço que liga ao betão armado. Este apoio funciona com lado fêmea que está inserido na viga de pedra e com um outro lado macho que está soldado na armadura na laje de betão armado. Esta solução tem rutura térmica, para isso foi colocado isolamento térmico entre a junção do macho e fêmea do apoio. (Griffiths, 2018; Murphy, 2018; Wilson, 2019)

A Pedra como Material Estrutural na Arquitetura Contemporânea

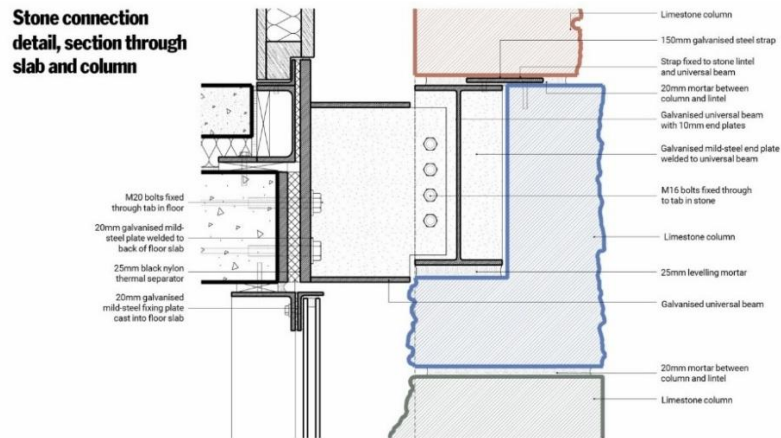


Figura 39| Pormenor em corte da ligação entre a fachada e o edifício

(Amin Taha Architects and Groupwork)

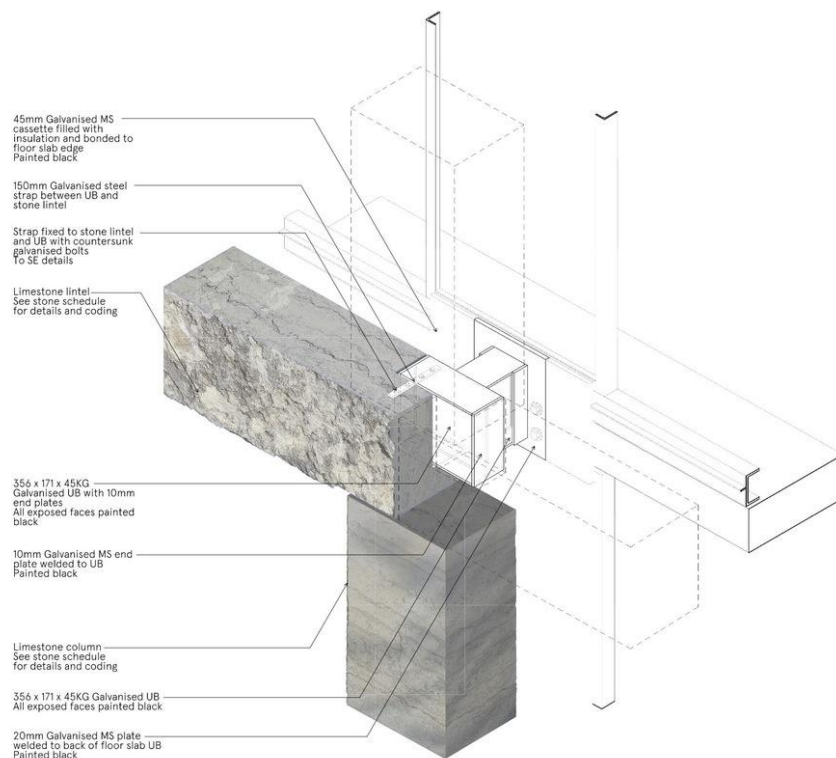


Figura 40| Pormenor em perspectiva da ligação entre a fachada e o edifício

(Amin Taha Architects and Groupwork)

A referência [Fig.41] destaca-se por uma certa desconexão com a envolvente, mas ao mesmo tempo mantém um certo respeito pela história do bairro. A fachada é uma exploração do uso da pedra como material estrutural e da construção contemporânea em pedra, que mostra que é possível o retorno do material tradicional e não existindo a necessidade de estar preso à forma de arco e abóboda. Como foi apresentado é preferível por vezes construir com recuso à pedra do que com outros materiais, esta tem potencial estrutural, sustentável e consegue atingir vários andares como é visível.



Figura 41| 15 Clerkenwell Close (Soar, T., 2017)

3.1.2 | Can Lis

A referência Can Lis, concebida pelo arquiteto Jorn Utzon²¹, é uma casa com diversos detalhes e experiências sensoriais, em harmonia entre o lugar, a luz e a envolvente. Construída com pedra local, a obra destaca-se pelo respeito da tradição vernacular e da inovação com elementos modernos, assim dialoga com o passado enquanto aponta para o futuro.

A sua localização à beira do mar advém de um lugar especial onde Utzon e mulher gostavam de passar algum tempo. O projeto teve como objetivo ser um refúgio da família, mas devido a humidade vinda do mar tornou-se casa de férias. («Can Lis, Maiorca»; Trotter)

O terreno escolhido pela família do arquiteto, encontra-se na vila de Porto Petro inserida na ilha de Palma, que faz parte de Maiorca. A vila e a ilha de Palma são caracterizadas pela construção tradicional maiorquina, que é visível desde edifícios monumentais, a particulares e pela homogeneidade, na qual a principal característica é a utilização da pedra local, arenito de cor dourada com a textura arenosa, o uso excessivo levou à falência das pedreiras locais. («Can Lis»; Candeias, 2014)

Ao fim de vários anos de estudo, Utzon desenhou a habitação como se fosse um espelho dos seus princípios, defende uma arquitetura contemporânea e inovadora que se ligue a cultura e ao sítio. Sendo assim, construiu a obra com a pedra local, continuando a caracterização que o território já possui. Utzon iniciou com duas propostas, com pormenores que se podem encontrar na proposta final, a primeira proposta em 1970 e a segunda dois anos depois, dando fruto ao desenho final e construído no mesmo ano. («Can Lis»; Candeias, 2014)

A habitação encontra-se no cume de um penhasco [Fig.42] a vinte metros de altura do mar, o seu acesso é feito através de uma rua secundária pouco movimentada, que tem o nome do arquiteto. A obra camuflada na paisagem tem uma intervenção pouco impactante, quando vista do lado da rua [Fig.43] é envolvida pela vegetação, saltando apenas a atenção o banco furado a azulejos brancos e pretos, uma marca do arquiteto. A vista do lado do mar é diferente, parece haver uma continuação do penhasco para a casa, que é através dele que esta foi erguida. («Can Lis, Maiorca»; Candeias, 2014)

²¹ Jorn Utzon (1918-2008) - arquiteto dinamarquês, conhecido pela opera de Sydney na Austrália. Formou-se em arquitetura pela Royal Danish Academy of Fine Arts em 1942, ao viajar por vários países adquiriu o seu estilo arquitetónico.



42



43

Figura 42| Alçado principal (Utzon Foundation)

Figura 43| Alçado tardoz (Chin, T.)

A obra é constituída por quatro volumes [Fig.45] ligados entre si, criando uma sequência com a forma retangular, esta colocação é influenciada pela exposição solar e pela natureza que já se encontrava no local. É constituído com cozinha, sala de jantar e de estar, dois quartos, duas instalações sanitárias e um anexo. Esta foi restaurada em 2011 pela arquiteta Lise Juel²², mantendo a essência de Can Lis discreta como o arquiteto. («Can Lis»; «Can Lis, Maiorca»)

A entrada é feita por um pequeno *hall* [Fig.47], que tem um mural de azulejos com uma meia-lua que permite ter o primeiro contacto como o horizonte, por sua vez dá acesso ao pátio principal, à cozinha e à sala de jantar. O pátio [Fig.49 e 50] tem a forma retangular onde é visível a ligação entre o habitar, o mar e o céu, este é marcado por uma repetição de pilares de pedra, criando um claustro com bancos, tem ainda um pequeno muro só com um bloco de pedra de altura que serve de proteção. (Candeias, 2014; Trotter)

Ao lado do pátio principal existe um outro pátio menor [Fig.48] com outro programa, neste apenas existem muros altos e uma mesa, com a forma de semicírculo. Este espaço faz levantar várias questões por não ser evidente a sua função, podia ser uma área de jantar ao ar livre, mas a mesa não tem bancos. Outros acham que é um espaço de trabalho do arquiteto, onde ele consegue conectar-se com as plantas e o sol. (Candeias, 2014)

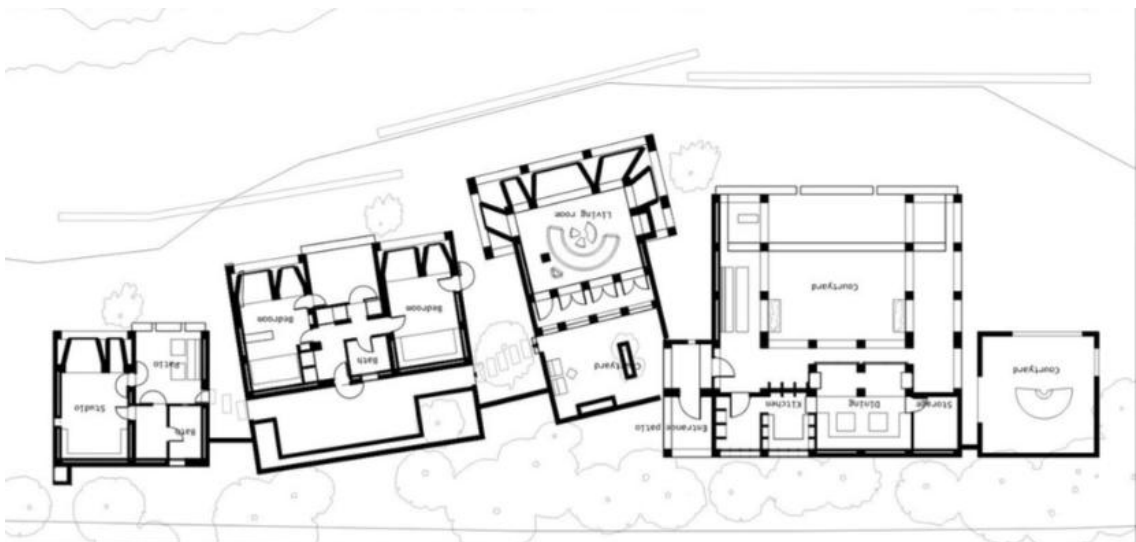
No volume mais ao centro encontra-se a sala de estar [Fig.51] que desperta uma experiência diferente comparada com os outros espaços. Sendo descrito como “um cenário dramático mas convidativo [...] sentimo-nos como se estivéssemos no interior de uma caverna”, possui um pé-direito mais alto que não se encontra nos outros espaços, as suas paredes são confrontadas por cones de pedra com vãos que encaminha o olhar para diferentes pontos do horizonte, sem serem limitados com as caixilharias das janelas. (Candeias, 2014; Trotter)

Para chegar ao próximo espaço é necessário atravessar um pátio exterior que tem um muro de separação para a rua, neste volume encontra-se dois quartos e uma instalação sanitária. Os quartos [Fig.52] são idênticos e minimalistas, com dois vãos iguais aos da sala de estar, uma cama embutida na parede, uma mesa de trabalho e uma estante feita de pedra. Por fim o último volume é onde se encontra o anexo ou quarto para as visitas, este é acedido da mesma forma que o anterior, a diferença é que este dá para um pátio coberto que serve como *hall* para os outros espaços, que são um anexo e uma instalação sanitária. (Candeias, 2014; Trotter)

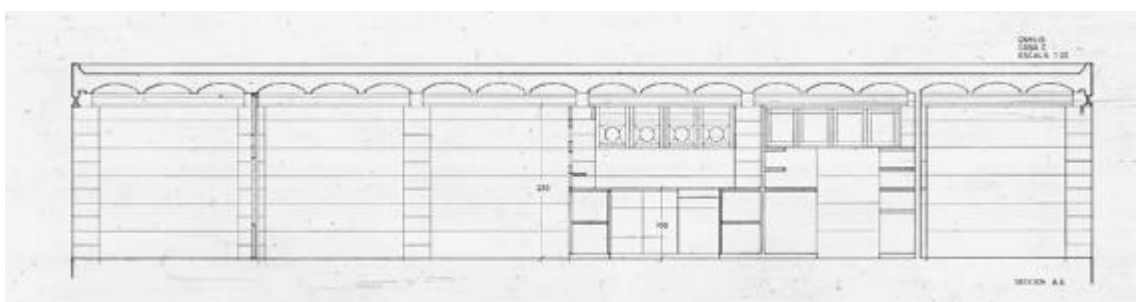
²² Lise Juel (1968) - arquiteta dinamarquesa, conhecida por projetos de residência e restauro fundou o atelier Lise Juel em 2010.



44



45



46

Figura 44| Alçado tardoz (Utzon Foundation)

Figura 45| Planta de piso (Utzon Foundation)

Figura 46| Corte do volume principal (Arquiteturaviva)

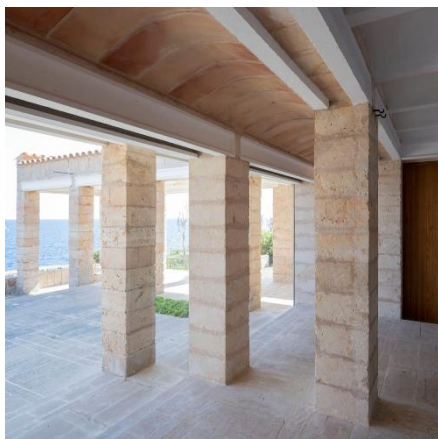
A Pedra como Material Estrutural na Arquitetura Contemporânea



47



48



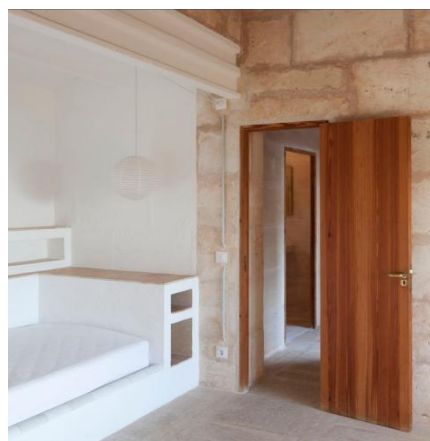
49



50



51



52

Figura 47| Entrada (Utzon Foundation)

Figura 48| Pátio sem programa (Utzon Foundation)

Figura 49| Pátio Principal (Utzon Foundation)

Figura 50| Pátio Principal (Utzon Foundation)

Figura 51| Sala de Estar (Utzon Foundation)

Figura 52| Quarto (Utzon Foundation)

Os interiores da habitação são todos do mesmo género, sendo apenas utilizado arenito, madeira de pinheiro de Maiorca e azulejos brancos, pretos e castanhos. Não existe muita decoração, deixando o foco de quem habita para o horizonte. Os moradores queriam que a vida fosse realizada ao ar livre e a casa fosse um abrigo. («Can Lis»; «Can Lis, Maiorca»)

A habitação é marcada pelos seus materiais e pelos seus métodos construtivos. Como anteriormente abordado o arenito é o principal material, um tipo de material de Maiorca que é usado nas paredes e nas colunas externas. Depois existe outro tipo de pedra que vem de Santanyi, este tem uma densidade mais alta, uma textura mais densa e uma cor mais cinzenta. Todo o arenito faz parte da estrutura da casa, devido a esta ser feita por paredes exteriores e interiores e colunas. («Can Lis»; Candeias, 2014)

Os blocos de arenitos foram cortados com tamanhos padronizados “80x40x20, 80x40x10 ou 40x40x20”. O método de construção recorreu a pedreiros locais, valorizando novamente as práticas tradicionais e o trabalho manual. As paredes foram erguidas através da passagem dos blocos de pessoa para pessoa e, posteriormente, içados com cordas, sendo finalmente unidos com argamassa à base de cal. («Can Lis, Maiorca»; Candeias, 2014)

Além da construção em pedra como material estrutural a habitação tem outros sistemas construtivos que acompanham na sua elaboração. Em algumas partes da casa o teto é feito por *bovedillas* [Fig.53], que é um sistema tradicional onde é utilizado telhas de barro com forma de arco no intercalar entre vigas, estas telhas são típicas da região e estavam descontinuadas há alguns anos, como o arquiteto queria a casa fosse totalmente arquitetura vernacular ele foi a antiga fábrica e trouxe moldes para produzir as suas próprias telhas.(«Can Lis»; «Can Lis, Maiorca»; Candeias, 2014)



Figura 53| *Bovedillas* (Candeias, S., 2014)

A estrutura horizontal da habitação foi concebida com uma solução diferente da comumente usada na construção em pedra, sendo usadas vigas de betão pré-esforçado em forma de I, que podiam atingir 5 metros e apresenta as dimensões de “uma altura de 20 centímetros e uma largura de 10 centímetros”. A integração entre os materiais estruturais foi feita de forma cuidadosa e harmoniosa, levando a uma perfeita simbiose entre o material tradicional e o material moderno. Em vez de utilizar vigas grandes de pedra que são mais complicadas de cortar e trabalhar para a época, o arquiteto optou por uma maneira inteligente e inseriu as vigotas de betão armado. («Can Lis»; Candeias, 2014)

Jorn Utzon transformou a casa tradicional maiorquina [Fig.54] numa interpretação contemporânea, preservando todas as tradições locais enraizadas na cultura do território. Cada detalhe foi pensado, desde o tubo de queda de água em barro até o pavimento ser o espelho da estrutura do teto, para que a habitação se tornasse uma verdadeira metáfora do sublime da arquitetura vernacular. Can Lis é mais do que uma casa, é um exemplo demonstrativo da ligação entre a tradição e a inovação, onde a conjugação de materiais artesanais trabalhados à mão e materiais modernos, mostra a possibilidade de que e se pode manter a essência da tradição na atualidade.



Figura 54| Can Lis (Arquitetura viva)

3.1.3| Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar

A moradia Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar foi projetada pelo arquiteto Gilles Perraudin²³, fundador do Atelier Architecture Perraudin. Uma proposta que consegue lidar com a problemática das alterações climáticas, com custos baixos e com materiais tradicionais e sustentáveis.

Uma habitação de 96m², realizada com pedra [Fig.55] e madeira, realizada em 2018 localizada nos arredores da cidade Montélimar, em França. O terreno onde está colocada cria um grande desafio ao arquiteto, visto ser uma zona de inundação e por ter um orçamento baixo, mas este não se deixou vencer e provou conseguir realizar a moradia e com recurso a materiais nobres.(«Maison pierre et bois massif à Montélimar»)

“Le bois et la pierre sont deux systèmes constructifs relativement souples qui travaillent bien ensemble- Gilles Perraudin ”. (Leray, 2019)

Uma habitação simples mas inserida num terreno onde o município requeria legislações específicas, com a elevação 1.73 metros e uma área de implementação limitada. Sendo assim, foi elevada 2.20 metros para os moradores conseguirem ocupar o piso de baixo, tornando num terraço coberto sem a preocupação de ser inundado e correr o risco de perder os seus bens materiais. («Maison Individuelle a Montelimar, France», 2019)

O preço final da moradia foi de 160 mil euros, surpreendendo visitantes e vizinhos, dado que se trata de uma casa de pedra projetada por um arquiteto renomado, com amplo jardim, lago e piscina, além de baixos consumos de energia. Este resultado foi alcançado graças a um planeamento cuidadoso e à utilização eficiente de espaços e materiais económicos. (Leray, 2019)

²³ Gilles Perraudin (1949) – arquiteto francês reconhecido por projetar com materiais sustentáveis sendo a pedra o material mais eleito, usa as técnicas tradicionais combinadas com novas da contemporânea.



55



56

Figura 55| Alçado Sul (Atelier d'Architecture Perraudin)

Figura 56| Alçado Norte (Atelier d'Architecture Perraudin)

A moradia, de forma retangular [Fig.57], é constituída por dois pisos: no piso superior encontram-se os espaços de estar, enquanto no piso inferior se situa um terraço coberto. A ligação entre os pisos é feita através de um núcleo central em calcário, considerado o coração da casa. Na rua, apenas o piso superior é visível, enquanto o inferior fica oculto por um muro [Fig.56]. A moradia passa despercebida, tornando-se discreta graças aos tons que se harmonizam com a envolvente. («Maison Individuelle a Montelimar, France», 2019)

No piso o [Fig.59], localiza-se o núcleo central com a porta para a entrada da habitação, o espaço encontra-se vazio apenas preenchido por gravilha no chão, como se fizesse parte do jardim da envolvente da casa, onde é possível guardarem lá lenha para o inverno. Não existe qualquer vidro ou porta, apenas é ocupada pelas paredes e pilares estruturais.

Já o piso superior [Fig.59] é preenchido com dois quartos, duas casas de banho, uma de serviço e um espaço aberto com cozinha e sala de estar e de jantar. A planta funciona como um “O” com espaço central desimpedido, assim os espaços de convívio são *open space* para maior fluidez do ambiente, sem impedimentos para lado norte da habitação, conseguindo usufruir de uma vista dos dois lados.

Os interiores [Fig.61] são pouco decorados para ser presentível a realidade dos materiais, os tons das paredes interiores e das cerâmicas são semelhantes às paredes exteriores, para o todo fazer um só. Os tetos são marcados pelas repetições de vigas de madeira e as placas OSB, que não estão escondidas são apresentadas realçando como verdadeiramente é construída.

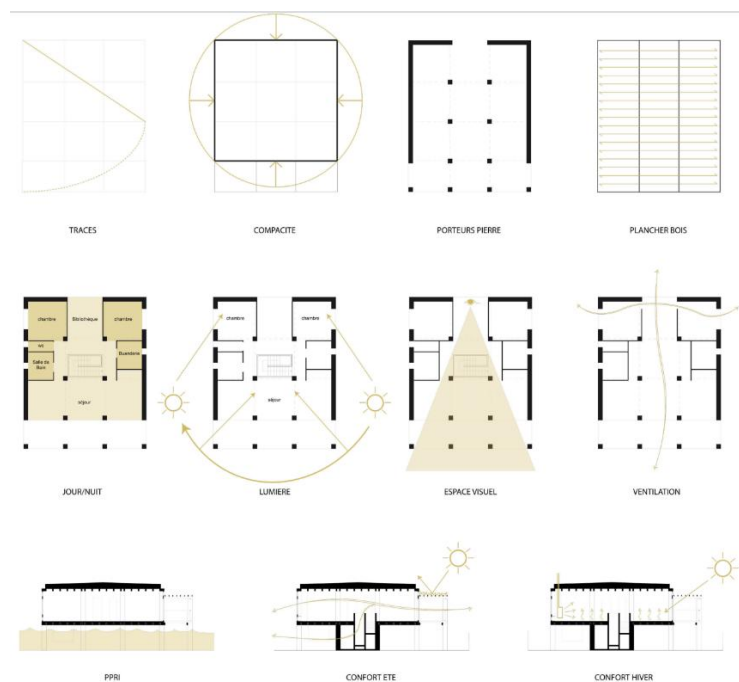
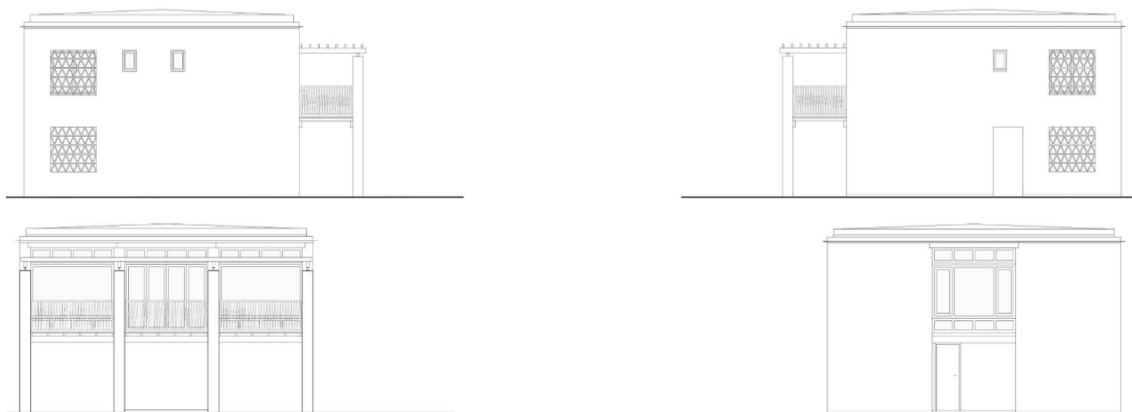
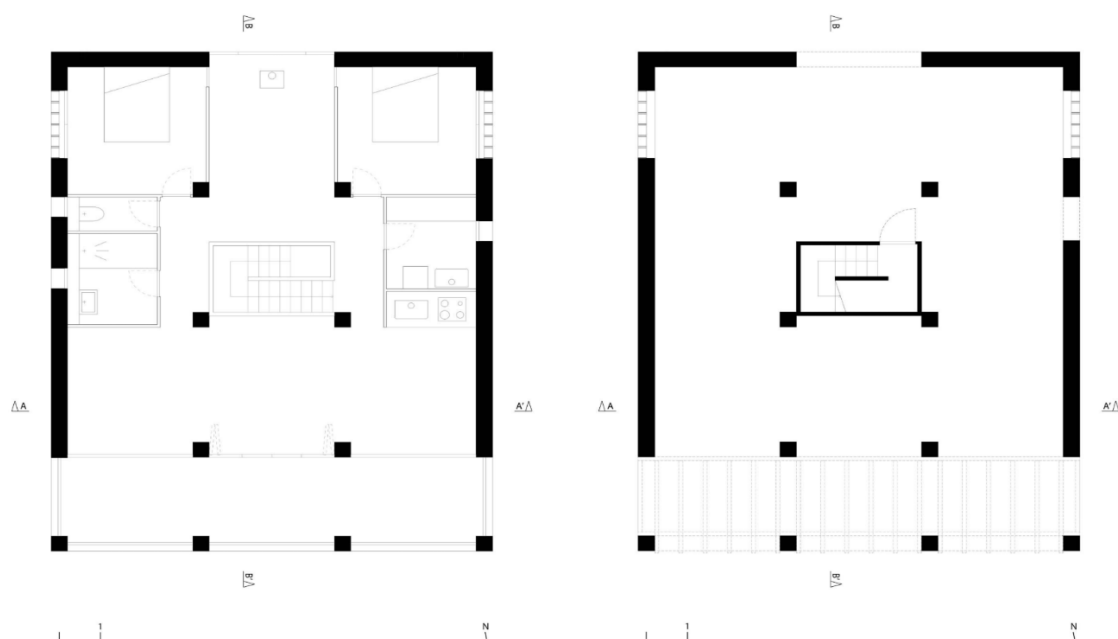


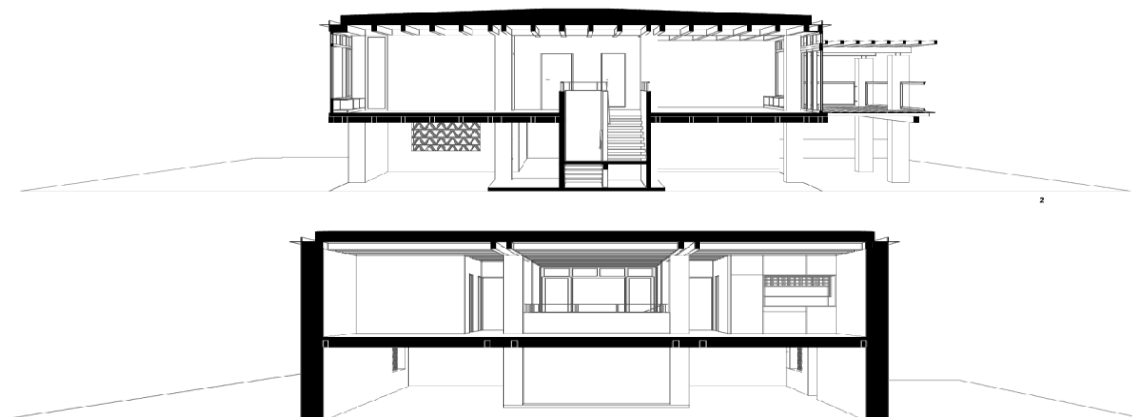
Figura 57| Diagrama de estudos (Atelier d'Architecture Perraudin)



58



59



60

Figura 58| Alçados (Atelier d'Architecture Perraudin)

Figura 59| Plantas de Piso (Atelier d'Architecture Perraudin)

Figura 60| Cortes (Atelier d'Architecture Perraudin)

A Pedra como Material Estrutural
na Arquitetura Contemporânea



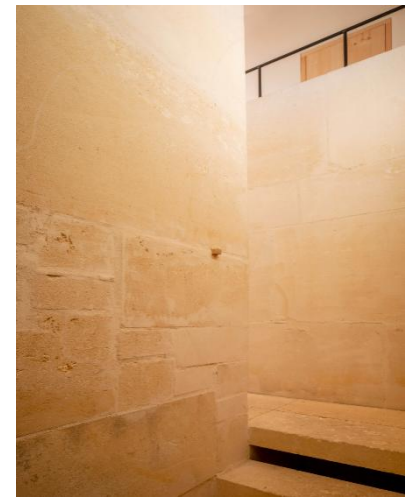
61



61



61



61



61



61

Figura 61| Interior e Exterior (Atelier d'Architecture Perraudin)

As paredes estruturais são de calcário da pedreira Carrière de Fontvielle, têm uma espessura de 40 centímetros, uma cor dominante branco com reflexos louros. A sua massa volúmica é 2030 a 2070 kg/m³, a sua resistência à flexão 4.9 a 5.9 MPa, a sua resistência à compressão de 9 MPa. A restante a estrutura são vigas de madeira de Melèze e para o teto são usadas placas de OSB. (Leray, 2019; «Maison Individuelle a Montelimar, France», 2019)

“Avec la pierre, un bon maçon suffit. La pierre est coupée à la mesure du calepinage. C’est très rapide: le mur est monté, il est immédiatement utile et efficace [...] le problème du béton est qu’il n’est pas recyclable, en plus il est fait avec du sable, de la pierre donc. La durée de vie du béton est de 75 ans, il va mourir à cause de son acier. Pensez au Patrimoine du XXe siècle: comment entretenir tout ce béton armé? La pierre on peut la démonter et la remonter ailleurs. On peut la récupérer, c’est l’histoire du Colisée à Rome” - Gilles Perraudin, (Leray, 2019)

A estrutura vertical [Fig.62] liga-se às vigas de madeira através de perfurações na pedra, foi feita uma grelha de 3 metros por 3 metros com as vigas principais, deixando um espaçamento entre elas da espessura dos pilares. As vigas secundárias são colocadas com outro espaçamento, como se tratasse de vigotas como se usa na maioria das construções.



Figura 62| Estrutura (Atelier d'Architecture Perraudin)

A utilização da pedra requer um planeamento [Fig.63 e 64] prévio que não é frequentemente conhecido. O atelier faz um alçado com os blocos todos que precisam para a casa, estes têm diferentes tamanhos devido às suas diversas utilizações. Uma solução para ajudar no desperdício, assim é possível chegar à pedreira e de um volume grande podem ser retirados blocos do tamanho *standard* e dos desperdícios podem aproveitados para blocos menores.

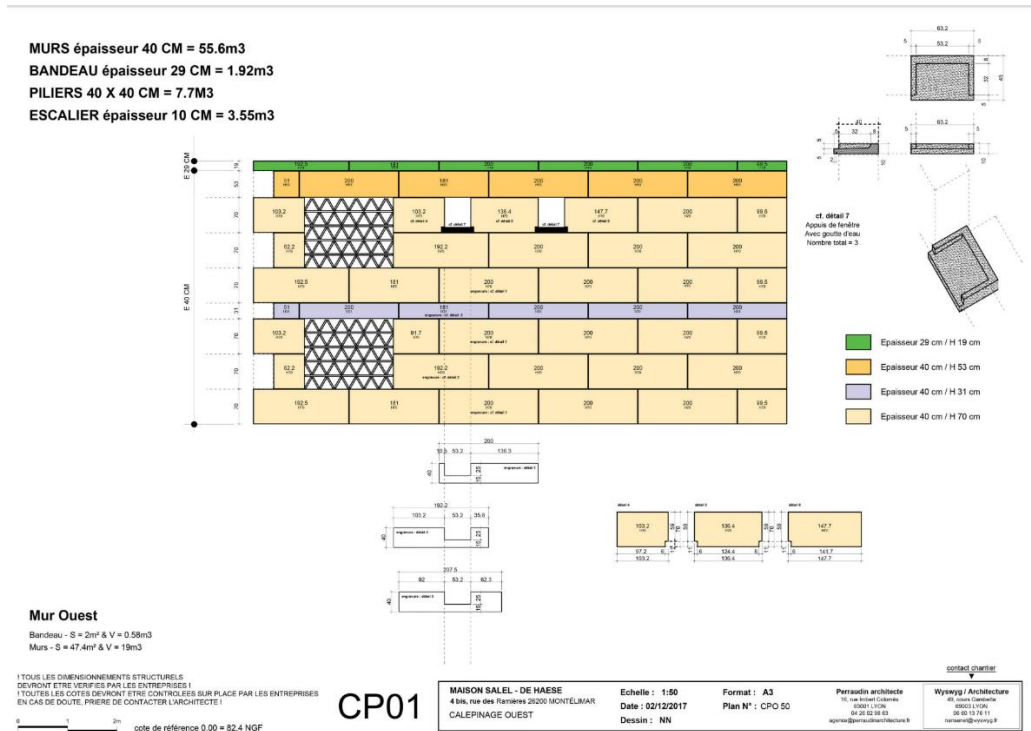


Figura 63| Planeamento de blocos usados no Alçado Oeste (Atelier d'Architecture Perraudin)

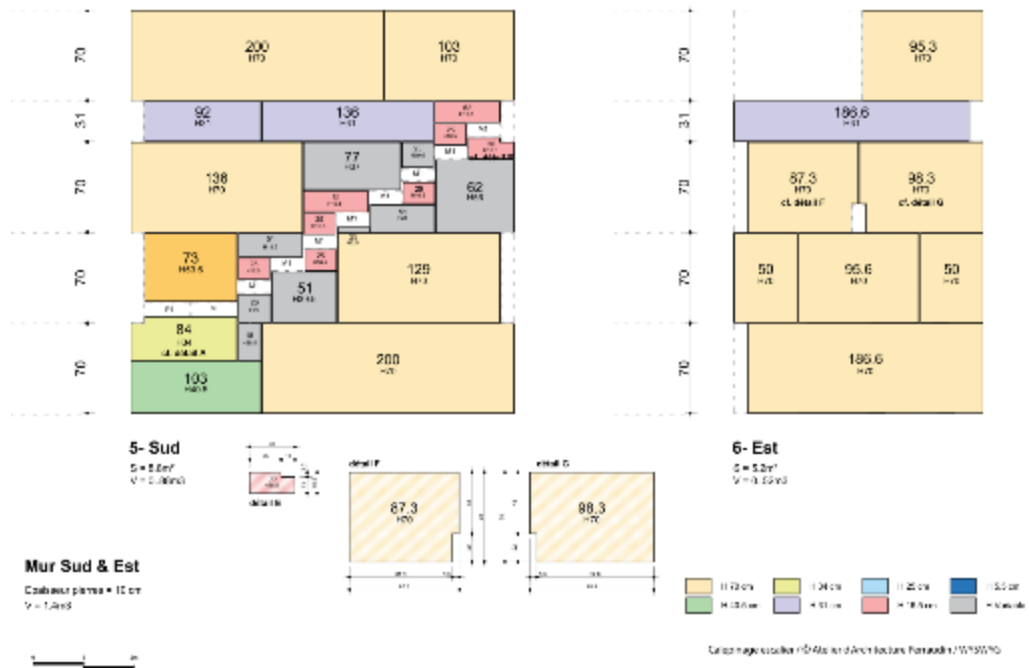


Figura 64| Planeamento de blocos usados no Núcleo Central (Atelier d'Architecture Perraudin)

A falta de planeamento dos blocos [Fig.65] é um erro marcante visualmente nas fachadas e de desperdício desnecessário de material deixado nas pedreiras, este pode ser evitado por um simples planeamento de cada alçado.



Figura 65| Exemplo de fachada sem planeamento prévio dos blocos (Autora, 2024)

A moradia além de ter materiais que apresentam uma pegada ambiental baixa, não utiliza equipamentos para ajuste de temperatura ambiental ou para ventilação. Os espaços de convívio são os mais utilizados e estão virados a sul para aproveitar a luz solar ao máximo. Enquanto os quartos virados a norte com janelas oeste e este, aquecidos por uma lareira que se encontra no meio do corredor que dão acesso aos mesmos. No terraço, encontra-se uma pérgula posicionada ao longo da fachada, destinada a tornar os espaços mais frescos durante o verão. («Maison Individuelle a Montelimar, France», 2019)

O proprietário diz numa entrevista que as estações do ano alteram os espaços mais frequentados, “L’hiver nous nous rapprochons du poêle à bois, situé entre les deux chambres qu’il réchauffe, au printemps et à l’automne, nous sommes dans la grande pièce de vie – cuisine, salon, salle à manger – avec la baie vitrée et la terrasse tout du long. L’été, nous sommes en bas. Ce nomadisme interne, s’il est source d’économie d’énergie, est aussi un déplacement du corps dans l’espace vers le lieu le plus propice. Notre comportement s’est adapté à celui de la maison et nous a permis de redéfinir la notion de confort. Nous ne voulons pas vivre à température constante, 20° été comme hiver, il faut accepter les variations”. (Leray, 2019)

A alteração de ocupação de espaços influencia os consumos de energia que são reduzidos por metade, normalmente uma casa de 70 m² consome 9900 kWh/ano com aquecimento e água quente, enquanto a referência consome 4000 kWh/ano. No decorrer da obra adicionaram o piso radiante como precaução, mas o proprietário admite que quase nunca usou, que a própria lareira é suficiente. (Leray, 2019)

“La pierre, en ‘respirant’, régule l’hygrométrie et la température de l’habitation. Dans un climat qui ira en se réchauffant, le véritable défi thermique sera celui du confort d’été- Gilles Perraudin ”. (Leray, 2019)

Pode-se verificar que é possível dar resposta a problemática das alterações climáticas usando materiais sustentáveis, que não só resistem às adversidades do futuro, mas também tem um impacto ambiental menor. Esta obra [Fig.66] é construída com sistemas construtivos tradicionais mas ao mesmo tempo com inovação. Além disso, o seu orçamento acessível torna a moradia um modelo de alternativa viável para um maior número de pessoas.



Figura 66| Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar

3.1.4| Pavillon D'accueil de la Carrière de Fontvieille

A obra Pavillon D'accueil de la Carrière de Fontvieille, projetada pelo Atelier Architecture Perraudin, é um pavilhão de recepção de uma pedreira em Fontvieille em França. O projeto destaca-se pelo uso de materiais extraídos da própria pedreira, criando uma integração harmoniosa com a paisagem e reduzindo o impacto ambiental.

A obra é um local de acolhimento e apresentações da pedreira [Fig.67], o pavilhão pode ser desmontado e alterar o seu programa, é um volume efêmero. Foi entregue como Jardin d'Eve em 2024, sendo uma metáfora de o Jardim do Paraíso em uma pedreira, este conceito é requerido através dos sentidos sensoriais, “La lumière éclaboussée, le parfum minéral et le bruissement de l'eau”. (Chroniques d'architecture, 2024; «Pavillon d'accueil de la carrière de Fontvieille (13)»)

Um pequeno espaço [Fig.68] com 70 m² de paredes estruturais de calcário da própria pedreira e vigas de madeira, como a distância de transporte foi mínima o seu impacto ambiental foi inferior. De todas as referências apresentadas, esta destaca-se pela estética distinta. Num espaço reduzido, proporcionam-se diversas experiências, os vãos alternados criam entradas de luz e sombras desiguais, enquanto a conjugação de materiais transmite tranquilidade. Todos estes elementos conferem ao espaço uma sensação de harmonia e contemplação.(Chroniques d'architecture, 2024)

“Dans cet enclos nous avons composé un jardin minéral, métaphore d'une carrière au sol tranché et parcouru par l'eau qu'accompagnent quelques sobres cactées.

La lumière éclaboussée, le parfum minéral et le bruissement de l'eau nous transportent vers un lieu originel: celui d'un jardin du paradis. Là où se situe l'origine du monde, celui des enfants et de celle qui les engendra, Eve. En donnant la vie, nous mourons. Comme Eve, cette jeune paysagiste qui perdit la vie en donnant son sang. Des murs se dressent pour enclore ce paradis. Des murs démontables où chaque pierre se superpose aux autres par la seule vertu de l'équilibre. Toutes les pierres sont sur le même module composant des figures auto stables qui produisent un langage nouveau et intemporel.”(«Pavillon d'accueil de la carrière de Fontvieille (13)»)



67



68

Figura 67| Alçado principal (Atelier Architecture Perraudin)

Figura 68| Alçado tardoz (Atelier Architecture Perraudin)

Na entrada do pavilhão, são usados espelhos de água com referência simbólica da extração de blocos de pedra e da água que é desperdiçada no processo. Além disso, o arquiteto pretende reforçar a ideia do Jardim do Paraíso refletindo o céu e remetendo às poças de água que se formam no terreno da pedreira, criando a conjunção entre a natureza e o edificar.

Os vãos do pavilhão [Fig.70] são preenchidos por vidros de diferentes tonalidades, alguns em vermelho e azul, enquanto outros são incolores. Embora o motivo exato não seja conhecido, é possível que a escolha faça referência aos vitrais das igrejas e catedrais, reforçando a ideia do Jardim do Paraíso. A porta da entrada é marcada pela sua moldura metálica, revestida ainda por fragmentos de pedra.

Ao entrar no espaço, percebe-se uma composição de vários volumes de formas retangulares de diversas funções e alturas, como bancos, vasos e espelhos de água. Esses elementos estão dispostos de maneira aleatória, evocando a dinâmica da pintura *Broadway Boogie-Woogie* de Piet Mondrin [Fig.69], especulando a possibilidade de que as cores dos vidros tenham a mesma inspiração. Entre formas geométricas semelhantes destaca-se uma única exceção, um cone espiral, simbolizando o crescimento orgânico e contrastando com rigidez dos volumes retangulares.

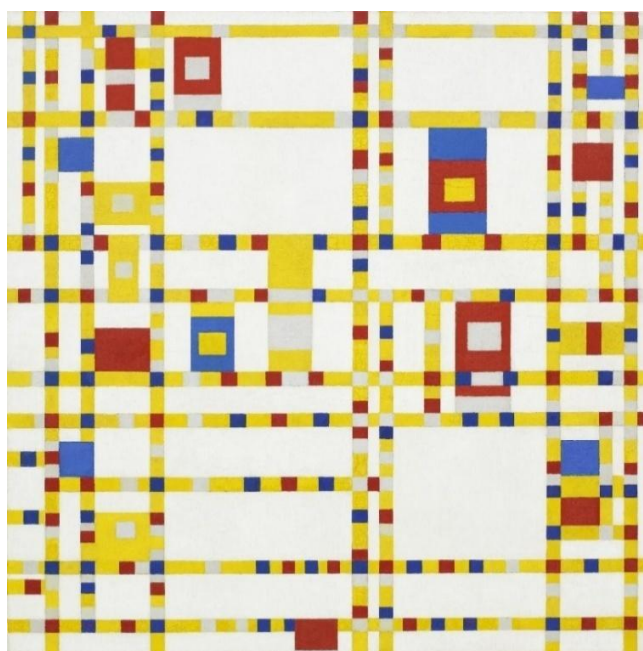
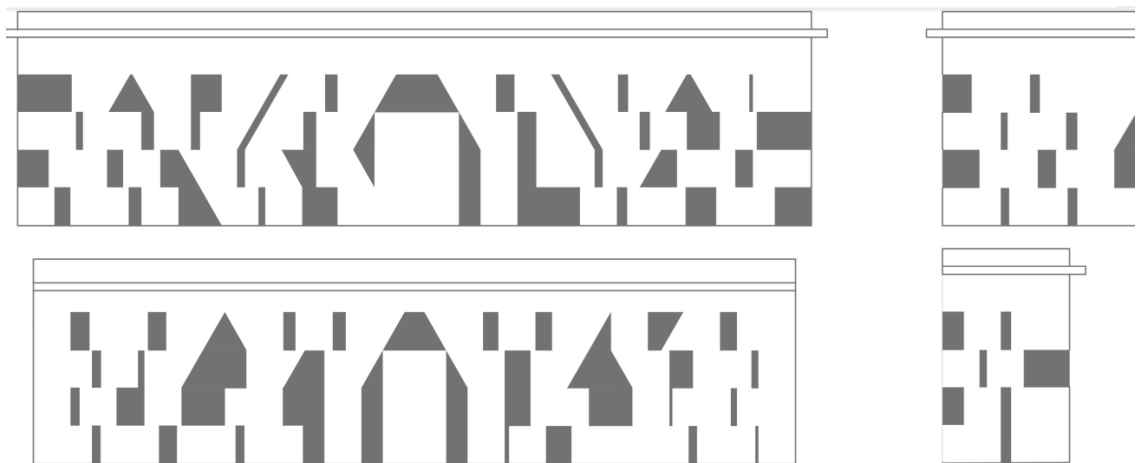
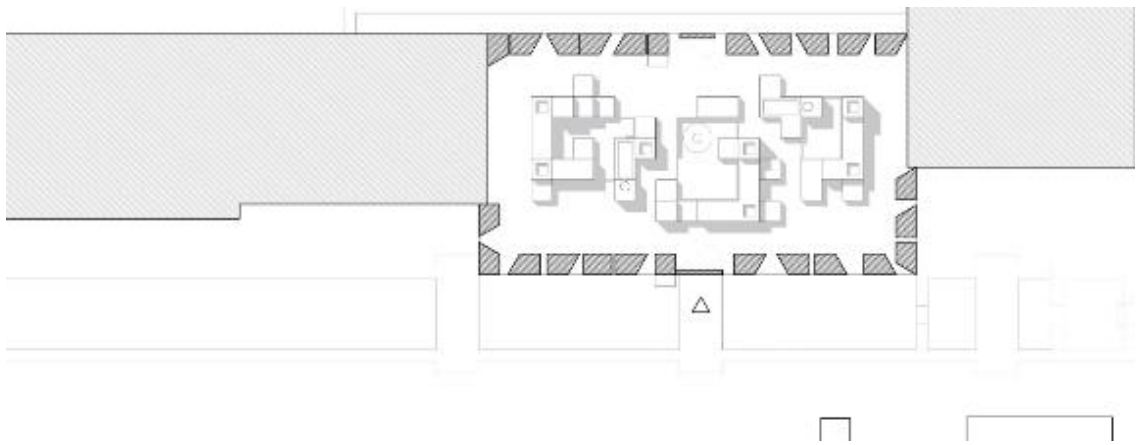


Figura 69| Pintura *Broadway Boogie-Woogie* (Piet Mondrin)

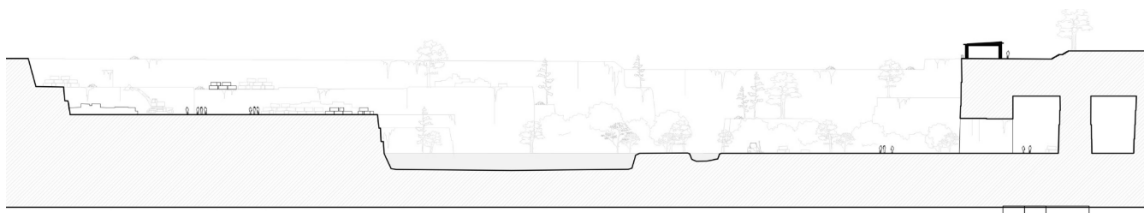
O espaço [Fig.73] é definido pelo uso cinco materiais, calcário, madeira, betão armado, metal e vidro, sendo que os mais industriais são usados pontualmente. Ao sair do ambiente acolhedor do pavilhão, encontra-se à frente uma varanda com uma vista para a paisagem, marcada pelos cortes e desníveis, resultantes da extração da pedra.



70



71



72

Figura 70| Alçados (Atelier Architecture Perraudin)

Figura 71| Planta de piso (Atelier Architecture Perraudin)

Figura 72| Corte com envolvente (Atelier Architecture Perraudin)

A Pedra como Material Estrutural
na Arquitetura Contemporânea



73



73



73



73



73

Figura 73| Exterior e interior (Atelier Architecture Perraudin)

Os alçados são marcados pelas formas assimétricas, criando uma fachada única e inovadora, algo nunca utilizado numa receção de uma pedreira. A proposta do arquiteto é empregar blocos maciços como se fossem peças de legos, substituindo formas pequenas por grandes blocos retangulares de 70 centímetros de espessura, a sua forma de corte concede uma identidade própria, permitindo que um único bloco se transforme em dois.

O piso de pedra repousa sobre uma base de betão armado [Fig.74], proporcionando suporte estrutural às paredes laterais. A união entre os blocos [Fig.75] não requer o uso de qualquer tipo de argamassa, a sua espessura garante a estabilidade estrutural, a que torna autoportante.

A estrutura horizontal é elaborada por várias camadas de vigas de madeira dispostas em diferentes direções. A primeira camada, formada por vigas mais espessas na posição horizontal e encaixam nas cavidades esculpidas nos blocos de topo. Em seguida, são colocadas vigas mais finas na vertical para compor o teto. Na última camada de madeira são usadas vigas no comprimento do pavilhão para criar a inclinação do teto. Por fim, é instalada uma chapa fina de policarbonato que permite a passagem de luz nas claraboias.



Figura 74| Edificação das paredes sem recurso a argamassa sobre a base de betão armado

(Atelier Architecture Perraudin)



Figura 75| Encaixes esculpidos nos blocos (Atelier Architecture Perraudin)

A pedra é considerada um material desafiante de trabalhar, pois a sua solidez, peso e textura transmitem sensações que impõem limitações técnicas e criativas. Perraudin desafia o contrário com esta obra [Fig.76], demonstrando como a pedra pode ser usada de forma leve. O pavilhão é uma experiência arquitetônica sensorial e simbólica, onde a rigidez da pedra e a naturalidade da madeira se equilibram com os elementos naturais criando um ambiente de harmonia e de contemplação.



Figura 76| Pavillon D'accueil de la Carrière de Fontvieille (Atelier Architecture Perraudin)

3.2 | A pedra no território

Neste subcapítulo, é abordada a pedra na região de Castro Daire, uma área reconhecida pela abundância de pedreiras e pela tradição de construção em pedra. Uma região que se destaca pelo granito, um material que apresenta uma particularidade adicional, a facilidade de execução, devido aos seus minerais este não precisa de máquinas de corte apenas é usado guilho e separação é feita corte natural pelo granito.

O granito (em Portugal) é valorizado ainda por ser um tipo de pedra que apresenta uma alta durabilidade e resistência. O granito da região de Castro Daire destaca-se ainda por ter uma menor pegada ambiental em comparação com outros tipos de granito, não necessita de máquinas para a divisão de blocos pequenos, apenas são utilizados equipamentos para extração do bloco maior.

Assim na primeira secção, explica-se a forma como as pedreiras operam atualmente. Para um melhor entendimento, foram realizadas visitas a duas pedreiras, para melhor analisar o seu funcionamento, qual o conhecimento sobre o material que usam e qual a sua pegada ambiental.

Já na segunda secção, o foco recai sobre o impacto do seu mercado e como este influencia na identidade territorial. Para tal, foi realizado trabalho de campo na aldeia de Cujó descrita como a “aldeia dos pedreiros”. Este consistiu em analisar as construções antigas em pedra comparativamente com as mais recentes em pedra, além de salientar como o aparecimento do betão armado reconfigurou os sistemas construtivos tradicionais.

A zona de Castro Daire é uma região rica na extração e na qualidade do granito, mantendo de forma tradicional e sustentável a forma como é executado. A facilidade de extração utilizando poucas máquinas e apresentando uma baixa pegada ambiental do granito local, valoriza o recurso. As visitas de campo permitiram contemplar de perto estas práticas e entender o profundo conhecimento que as pessoas têm sobre a pedra.

3.2.1| Fornecedores da Identidade Construtiva

Nesta secção, aborda-se o modo como as pedreiras operam na atualidade e como este setor pode influenciar a dinâmica de um território. Para um melhor entendimento sobre o setor, foi feita uma pesquisa detalhada sobre a atividade, complementada por trabalho de campo que inclui uma visita a uma pedreira e a uma empresa de transformação de pedra.

Castro Daire [Fig.77] é uma zona rica em tradições, com construções em granito e exploração abundante deste material, que sobressai nas construções da respetivas paisagens montanhosas. A aldeia de Cela, é marcada pela presença do fluxo das pedreiras, onde as ruas se cobrem pelo pó resultante da extração e pelo tráfego de camiões com blocos, os seus habitantes são ou já foram trabalhadores da extração, que guardam as histórias e os saberes do ofício, que são transmitidos de geração em geração.



Figura 77| Relação paisagem montanhosa com fluxo da pedreira (Autora, 2024)

Na pequena aldeia, Cela, existem várias pedreiras e empresas de transformação de granito. Dentre todas, apenas cinco (Morbel²⁴; Granitos MR²⁵; Valdemar²⁶; Granipoças²⁷; Granidera²⁸) se mostraram dispostas a dar informação sobre o seu funcionamento. As questões colocadas tinham como foco compreender qual era o produto mais vendido, se conheciam o conceito de “pedra como material estrutural” e se as vendas realizadas se davam maioritariamente a nível nacional ou internacional.

Todas as empresas contactadas referiram que os produtos mais vendidos são cubos para calçadas, pavimentos, elementos decorativos e blocos para muros e para revestimentos, os quais não exploram plenamente as características de resistência e dureza que o granito possui. Além disso, todas afirmaram que não tinham conhecimento sobre pedra como material estrutural e nunca tinham vendido algum produto para esse fim.

Relativamente à exportação, apenas duas empresas referiram vender tando para mercado externo como para o mercado nacional, os países para os quais mais vendiam era França, Espanha e Itália. A predominância de vendas e produtos mais comercializados está relacionado com facto de todas as empresas realizarem maioritariamente obras públicas. A falta de conhecimento, por parte dos arquitetos e construtores, sobre as características da pedra leva muitas vezes a que esta seja usada apenas para fins decorativos, por ser a maneira mais simples e comum de aplicação.

²⁴ Morbel- empresa de transformação de vários o tipo de pedra, fundada em 1981, os seus produtos mais vendidos são para decoração e pavimentos, maioritariamente para obras públicas, exportação semelhante quer a nível nacional como internacional. (https://morbel.pt/?page_id=24&lang=pt)

²⁵ Granitos MR- empresa de extração de granito, produto mais vendido são cubos para obras públicas portuguesas.

²⁶ Valdemar- empresa de extração de granito, produto mais vendido são cubos para obras públicas.

²⁷ Granipoças- empresa dedicada a extração e transformação de granito fundada em 1079, as vendas são para obras privadas em Portugal, os produtos mais vendidos são pavimentos e revestimento (<https://movstone.pt/quem-somos/>).

²⁸ Granidera- empresa de transformação e extração de granito fundada em 1986, os seus produtos são pavimentos e muros para obras públicas e privadas em Portugal (<https://granidera.pt/>).



Figura 78 | StoneSet (Autora,2024)

Para uma melhor análise do funcionamento das pedreiras e do conhecimento do material, foram escolhidas a pedreira StoneSet e a empresa de transformação de pedra Maroufi. Ambas aparentem ter cariz familiar, com elevados níveis de produção, a perspetiva adotada representa de forma exemplar o setor.

A primeira empresa visitada foi a StoneSet [Fig.78], cujos colaboradores se deslocam diariamente do Porto para trabalhar com o granito característico da região de Castro Daire, valorizado pela sua facilidade de desmonte.

A exploração da pedreira²⁹ tem origem na década de 1980, inicialmente conduzida pelo Senhor Arlindo Pinto Monteiro, proprietário de pedreiras na aldeia e em localidades vizinhas. Esta exploração era considerada localmente como ter granito de qualidade e ficou também marcada por episódios curiosos associados às explosões, que por vezes projetavam fragmentos capazes de danificar as habitações próximas.

Ao longo das décadas, a pedreira sofreu várias ampliações: em 1996 foi aumentada em 2.500 m², em 2004 atingiu 63.000 m² e, em 2023, chegou aos 70.000 m². Após o falecimento do Sr. Arlindo, em 2020, a gestão passou para Alexandra Judite, sendo depois adquirida pela empresa Pereiro e Martins em 2021. Finalmente, em junho de 2024, a pedreira [Fig.79] foi integrada na StoneSet.



Figura 79| Pedreira (Autora,2024)

²⁹ Informação dada pela Junta de Freguesia Moledo

Ao tomar conhecimento das características do granito de Castro Daire, a StoneSet decidiu instalar a sua empresa na região. Ao adquirir esta exploração tradicional, aplicou técnicas modernas, transformando significativamente o aspeto da pedreira e a segurança dos trabalhadores.

Entre os objetivos apontados, encontram-se o alargamento da área de exploração, a criação de novos estaleiros e a construção de instalações de apoio aos trabalhadores. Referem ainda a intenção de que os meios de transporte, equipamentos e maquinaria passem a ser alimentados a energia elétrica proveniente de painéis solares, que são instalados em parceria com outras empresas ao redor.

Na pedreira, o processo de extração de granito inicia-se com uma abertura feita no solo através de explosivos, para a remoção de blocos grande, utilizam máquina de corte a fio diamantado [Fig.80], uma técnica que reduz a poluição e cria menos desperdícios. Após a extração do bloco este é transportado para o estaleiro, onde o pedreiro procede a sua divisão, utilizando um martelo pneumático [Fig.81].

Em seguida, o bloco de grandes dimensões vai ser cortado em blocos mais pequenos consoante as encomendas. Para esse processo são usadas técnicas antigas utilizando os utensílios de guilhos ou picos e maretas³⁰ [Fig.83], os picos têm de ser afiado para conseguir realizar melhor a sua função, para isso é são levados a um ferreiro uma profissão em decadência. As laterais do bloco [Fig.82] de maior dimensão são cortadas com uma serra de disco para ficarem com a superfície lisa.



Figura 80| Separação de bloco do solo (Autora, 2024)

³⁰ O pico é utilizado para realizar as perfurações no bloco, que posteriormente recebem os guilhos, estes, por sua vez, são batidos com marreta, permitindo a separação do bloco de pedra.



81



82

Figura 81| Divisão de blocos (Autora,2024)

Figura 82| Acabamento lateral (Autora,2024)



Figura 83| Técnica antiga a usar pico martelo (Autora, 2024)

O corte das peças é moldado pela mineralização do granito, que caracteriza o seu valor comercial, quando apresenta um grão homogêneo é mais valioso por se considerar esteticamente mais bonito. Por outro lado as parcelas presença de veios, pigmentações e padrões dendrítico³¹ [Fig.84] são consideradas desperdícios. No entanto, essas diversidades não influenciam no uso estrutural, ou seja, mesmo com essas heterogêneas o material continua a estar apto a ser usado e não perde o valor.



Figura 84| Dendrítico (Autora, 2024)

Como a pedra é rachada de forma natural, o bloco fica com o acabamento granuloso em um dos lados, enquanto o outro lado apresenta com acabamento serrado, resultante da passagem da máquina de corte utilizada para a extração do bloco maior. O bloco menor fica com um aspeto natural, que aparenta ser o mais procurado pelos clientes. Caso não seja pretendido um acabamento natural e se opte por um bloco totalmente serrado, é necessário recorrer a máquinas, o que implica um aumento da pegada ambiental.

O bloco apresenta uma forma retangular, com as esquinas inferiores cortadas na diagonal, com o propósito de aumentar a área de contacto da argamassa. Esse detalhe vai ajudar a sua aderência, resistência e melhorar a união entre os blocos na sobreposição durante a construção.

De acordo com a empresa, como são utilizadas poucas ferramentas e reduzida mecanização no processo de transformação do granito em blocos mais pequenos, devido à sua facilidade de separação, o material aparenta ter baixo consumo energético e menor emissão de CO₂ associada à produção, tornando-se ainda menos prejudicial para o planeta.

³¹ Dendrítico- desenhos naturais em forma de raízes causado pela precipitação de minerais, neste caso devido ao ferro.

O granito é descrito como apresentando baixo impacto poluente, o que, segundo a empresa, poderá contribuir para ser procurado internacionalmente por países com maior preocupação ambiental. Segundo informações recolhidas na StoneSet, o granito desta zona é preferido por alguns clientes noruegueses, já que 1 m² de uma viga de betão armado produzido localmente é mais poluente do que 1 m² de viga do granito, mesmo considerando que vai ser transportado por um navio até Noruega.

Nesta empresa, parece existir uma preocupação de minimizar o impacto na paisagem e no meio ambiente. Deste modo, não há desperdícios de material, os blocos que tem diversidades e as sobras resultantes do corte para blocos mais pequenos [Fig.85], são reaproveitados e transformados em cubos ou utilizados na construção de muros de suporte, até mesmo para reparar os existentes na antiga pedreira.



Figura 85| Transformação de desperdícios em cubos para calçada (Autora, 2024)

A visita ao local permite compreender a importância de conhecer o material na sua origem, visto que são os próprios blocos de granito que moldam o projeto de arquitetura, em certos casos a falta de conhecimento do material leva a problemáticas durante a execução.



Figura 86| Maroufi (Autora,2024)

A Maroufi [Fig.86] é uma empresa especializada na transformação de pedra, maioritariamente em granito e mármore. Fundada em 1997, iniciou a sua atividade com pequeno armazém e algumas máquinas. Ao longo dos anos, foi expandindo as suas instalações e equipamentos, atualmente possui uma área superior a 4 mil m² dedicados à produção, ambiciona um aumento para conseguir mais máquinas e reforço da sua equipa de trabalhadores.

A empresa possui uma pequena pedreira própria, porém, uma vez que a não consegue suprir às encomendas, compra matéria-prima às pedreiras vizinhas, como a StoneSet, promovendo assim uma economia circular territorial. Como o granito da zona apresenta a mesma caracterização³², estes possuem estaleiros para realizarem a separação de blocos.

A Maroufi apresenta como objetivo distinguir-se pela versatilidade de acabamentos, adaptando-se aos gostos e exigências de cada cliente, acrescentando dessa forma valor a cada peça. Entre os produtos desenvolvidos, sobressaem os pequenos blocos de granito [Fig.87] com potencial para substituir o tradicional tijolo burro, amplamente usado no Reino Unido. Esta alternativa ajudaria significativamente o meio ambiente, uma vez que a pedra mesmo finalizada polui menos que qualquer material. Outro produto que apresentado foram vigas e pilares de granito [Fig.88], de grandes tamanhos, que podem ser utilizadas como elementos estruturais e decorativos simultaneamente, conseguindo ter dois propósitos.

³² Fácil separação devido a mineralização



Figura 87| Tijolo de granito (Autora,2024)



Figura 88| Viga de granito (Autora,2024)

A empresa possui um fluxo de transformação de pedra bem estruturado, que se inicia pelas máquinas de corte [Fig.91], capazes de cortar vinte placas ao mesmo tempo que podem ter a espessura de 2 centímetros. Em seguida, as peças passam para as máquinas de acabamento [Fig.90], que variam conforme os tipos de efeito desejado, para acabamentos texturados, são usadas jatos de água ou de granalha, evitando o uso da areia por representar riscos à saúde dos trabalhadores.

Noutra secção, existem máquinas que realizam os últimos acabamentos nos produtos e existe uma máquina dedicada ao bolear dos cantos das peças, que consiste em transformar os cantos retos em cantos ovais. Na etapa final, para a união de placas de pedra, é realizado o babete³³ [Fig.92], um método impercetível, dando a impressão de que a pedra saiu assim da natureza.



89



90



91



92

Figura 89| Máquina de corte (Autora,2024)

Figura 90| Máquina de acabamento (Autora,2024)

Figura 91| Máquina de corte no bloco grande (Autora,2024)

Figura 92|Babete (Autora,2024)

³³ Termo usado para a união de duas superfícies de pedra

Em termos de sustentabilidade, a Maroufi mencionou ter vindo a implementar melhorias significativas, sendo um dos passos para tal a instalação de painéis solares que contribuem na redução do consumo energético. No entanto, continuam a enfrentar desafios em relação as lamas³⁴ e desperdícios de granito. Como possível estratégia para diminuir estes problemas, foi-lhes apresentada a alternativa de reaproveitar a lama na produção de tijolos moldados.

Em conclusão, Castro Daire é uma região privilegiada pela presença de um tipo de granito único, com características muito particulares que não se verificam em outros granitos. Este recurso está na origem da criação de atividade económica numa pequena aldeia, que, de outro modo estaria despovoada.

A análise do funcionamento das duas empresas permite compreender não apenas os métodos de extração e transformação do granito, mas também a forma como este recurso influencia a economia local e o quotidiano da população. Esta relação entre o material, a sua exploração e a vida comunitária constituem a base para refletir sobre a identidade territorial, aspeto que será abordado na secção seguinte.

³⁴ Lamas surge da água que é usada para corte e acabamentos das pedras

3.2.2 | Identidade Territorial

Nesta secção, será abordada a forma como a construção em pedra confere uma identidade única a uma aldeia conhecida por ser habitada pelos pedreiros. São analisadas as transformações que ocorreram aquando da introdução betão armado, evidenciando como esta mudança trouxe soluções para a evolução da aldeia e, por consequência, “a arte do fazer” ficou esquecida.

Cujó [Fig.93], pertence ao conselho de Castro Daire, é amplamente reconhecida pelo talento dos mestres da pedra, com a fama desventrar penedos com guilhos e marretas, erguendo casas em pedra não só no distrito de Viseu, mas também noutros distritos vizinhos. O fluxo intenso da atividade profissional foi tão abrasante que estes desenvolveram o seu próprio “verbo”, que os de fora do ofício não conseguiam entender. (Carvalho, 1993, p. 5)

“Bons artistas de pedra, antes do cimento, o ferro, o tijolo e outros materiais ligados à construção civil invadirem os rincões do Paiva, do Vouga, Balsemão, Varosa e afluentes de todos eles, antes da emigração para a estrangeira, em levadas sucessivas a partir dos anos sessenta [...] eles eram os mestres mais solicitados nas redondezas para execução de obras em pedra bugalhuda ou porpianho”(Carvalho, 1993, p. 29)

O registo mais antigo da povoação da aldeia remonta a 1621, altura em que era composta por casas de granito com coberturas de colmo, sem aparente planeamento urbano. A aldeia foi-se desenvolvendo não apenas com habitações, mais também com moinhos, palheiros, fontes, igreja e fornos, todos os elementos edificados em granito, refletindo a forte ligação da comunidade a este material. (Carvalho, 1993, p. 25)



Figura 93| Cujó (Autora,2025)

Embora utilizado há muito tempo, o granito continua a estar presente na maioria das construções. No entanto, este é por vezes utilizado de forma incorreta, desvirtuando e desvalorizando as suas características de resistência e privilegiando apenas a vertente estética.

As construções antigas em pedra apresentam, geralmente, uma planta com pequenas dimensões [Fig.94], em que as paredes laterais desempenham o papel de estrutura principal. As lajes e o solhado eram em madeira, tal como a estrutura da cobertura, rematada com telha, solução que é considerada como ideal nos dias de hoje. O tamanho das pedras utilizadas foi variando ao longo do tempo, influenciado tanto pela evolução das técnicas de construção como pelo valor económico de cada família.



Figura 94| Uma das construções mais antigas de Cujó (Autora,2024)



95



96

Figura 95| Igreja de Cujó (Autora,2024)

Figura 96|Ampliações das construções em pedra (Autora,2024)

Por exemplo, é possível observar variações no tamanho das pedras utilizadas na igreja paroquial. O material da antiga ermida foi reaproveitado após a sua destruição para a construção da nova igreja [Fig.95]. As obras começaram pela torre, erguida em 1914, passando para a capela-mor em 1925, depois para o arco-cruzeiro 1926 e por fim para o corpo principal em 1932. A sua construção demorou cerca de dezoito anos, devido a ser utilizada apenas mão de obra, sem qualquer ajuda de mecânicos. (Carvalho, 1993, p. 177)

Com o passar dos anos, as pessoas começaram a realizar ampliações nas habitações ou aproveitar as ruínas das primeiras construções. Isso evidencia, a diferença no tamanho das pedras utilizadas. Como exemplo disso, apresenta-se uma habitação [Fig.96] cuja primeira parte foi construída em 1866, depois foi ampliada em 1982, onde é possível identificar a introdução de novos métodos construtivos.

Ao observar as ruas [Fig.97], onde predomina a construção em pedra, é impossível não sentir a presença do passado e uma sensação familiar. As volumetrias simples, construídas com materiais locais, revelam uma arquitetura vernacular, que reforça a identidade territorial e cultural do lugar.



Figura 97| Rua com construções antigas (Autora,2024)

Como mencionado, a Revolução Industrial trouxe consigo novos materiais, essa transformação tornou-se visível nas construções em pedra. Onde antes predominava exclusivamente o granito e madeira, começaram a surgir elementos industriais, que por vezes, ocultam ou descaracterizam a presença original da pedra. Um dos elementos mais evidente é a adição de tijolos [Fig.98] nas ampliações das casas, uma maneira prática adotada pelos aldeões para responder ao crescimento das famílias.

Outro aspeto visível é o reboco [Fig.99] sobre as paredes de pedra, este aspeto revela uma transformação estética considerável. Embora seja uma alteração à leitura original da fachada, esta é uma solução que reflete os gostos pessoais dos donos das habitações, mostra como as construções se adaptam às exigências contemporâneas, mantendo ainda vestígios da sua identidade tradicional.

A nível estrutural, uma das alterações mais visível foi a substituição das lajes de madeira por lajes em betão armado. As estruturas em madeira apresentam problemas com pragas que comprometiam a resistência do material. A introdução do betão armado surgiu, assim, como uma solução mais duradoura e segura, refletindo a adaptação das construções às exigências de conforto e segurança estrutural.

Assim sendo, as pessoas procuraram uma solução rápida para estes problemas, por isso observa-se que a adição de tijolo e betão armado foi uma alternativa encontrada para responder imediata às necessidades. Presume-se que essas adições dos elementos não eram motivadas por razões económicas, pois os pedreiros extraíam o material dos montes, um processo que era lento e existia a necessidade dar rápida resposta devido ao aumento familiar.



98



99

Figura 98| Adição de tijolo (Autora,2024)

Figura 99| Reboco sobre paredes de pedra (Autora,2024)

No entanto, não foi o aparecimento do betão armado que levou aos habitantes de Cujó a abandonar a construção em pedra. Na atualidade continuam a usar os mesmos métodos mas com algumas adaptações modernas. Nos exemplos observados [Fig.100], as paredes exteriores continuam a servir como estrutura principal, o betão armado é apenas usado para a laje da habitação, o que representa um avanço significativo em termos de sustentabilidade.



Figura 100| Palheiro de 1886 ao lado de uma habitação de 2018 (Autora,2024)

No caso em que as áreas da casa são maiores [Fig.101], é comum a existência de uma parede central estrutural em pedra. No exemplo inferior, as paredes são mistas, compostas tanto por pedra no lado exterior quanto no interior, adquirido uma estabilidade superior. Esta solução permite aumentar as áreas dos espaços sem se comprometer a resistência da estrutura.



Figura 101|Habitação com parede mista com pedra (Autora,2024)

Em algumas construções novas, a pedra assume um papel meramente decorativo [Fig.102], enquanto a estrutura inteiramente concebida em betão armado. A maioria das novas construções em pedra seguem este modelo, a primeira camada exterior de granito com cerca de vinte centímetros, em seguida do lado interior é acrescentada uma parede de tijolo. Isso faz com que as paredes da casa fiquem mais espessas do que necessário visto que a pedra tem fim decorativo.



Figura 102| Parede mista com granito e tijolo (Autora,2024)

Outro aspecto recorrente é a colocação de vigas junto à parede de pedra [Fig.103], mesmo quando esta poderia desempenhar uma função estrutural. Esta é assim uma prática desnecessária, pois a parede de pedra tem resistência suficiente para suportar a laje de betão armado. Ao tirar partido das capacidades estruturais do granito, seria possível reduzir significativamente a quantidade de betão armado usado. Esta abordagem tornaria a construção mais eficiente e sustentável, ao diminuir o consumo de materiais com maior impacto ambiental.



Figura 103| Viga de betão armado ao lado de parede de pedra (Autora,2024)

Outra maneira de reduzir a utilização de betão armado seria recorrer a alguns pilares e vigas em granito [Fig.104 e 105], visto que se pode obter elementos estruturais de grandes dimensões e elevada resistência. Esta solução iria contribuir para uma maior integração entre betão armado e granito, além de diminuir o impacto ambiental da construção. Ao aproveitar um recurso natural duradouro que já usado localmente, iria-se reduzir a dependência de materiais industriais e promover uma abordagem mais sustentável e eficiente.



104



105

Figura 104| Viga de pedra (Autora,2024)

Figura 105| Pilar de pedra (Autora,2024)

Existe uma zona a norte de Cujó onde estão a ser erguidas várias construções em pedra [Fig.106], o que evidencia a persistente valorização do granito, embora os métodos construtivos não sejam o mais adequados ou respeitadores usados na antiguidade. Claramente observa-se uma divergência entre a identidade das casas antigas e das novas, a linguagem arquitetónica contemporânea revela uma evolução nos materiais e das técnicas utilizadas.



Figura 106| Identidade territorial contemporânea (Autora,2024)

A construção em granito na aldeia de Cujó permanece como um marco vivo da sua identidade e memória, ligada ao ofício dos seus mestres pedreiros. Apesar das alterações trazidas pelo betão armado e pelos materiais industriais, o granito continua a ter presença, adaptando-se as transformações contemporâneas. Esta coexistência entre tradição e modernidade revela a identidade territorial num contexto em está sempre constante evolução.

Apesar de, em muitas construções recentes, o granito apresenta um papel decorativo. Ao ser reconhecido como material como estrutural, não apenas preserva-se a memória e a identidade territorial, como também se promove uma abordagem construtiva mais sustentável e avançada. A utilização do granito como material estrutural permite reduzir o consumo de betão armado, valorizando um recurso local de elevada durabilidade e baixo impacto ambiental.

Capítulo 4 | Projeto Experimental

No último capítulo é desenvolvido um projeto experimental que visa demonstrar o potencial do granito da região de Castro Daire enquanto material estrutural aplicado à arquitetura contemporânea e sustentável. A proposta consiste na adaptação de uma habitação originalmente concebida em betão armado para uma solução integralmente pensada em blocos de granito, evidenciando as características da resistência da pedra.

Para esse efeito, foi selecionada a obra “House X” [Fig.107], uma habitação unifamiliar com 190 m², projetada pelo atelier Bojaus Arquitetura e concluída em 2024, situada em Valdemorillo, Espanha. Importa salientar que esta escolha não constitui uma crítica ao projeto original, mas sim um exercício conceptual que pretende explorar de que forma a mesma solução arquitetónica pode ser reinterpretada através do uso da pedra como material estrutural.

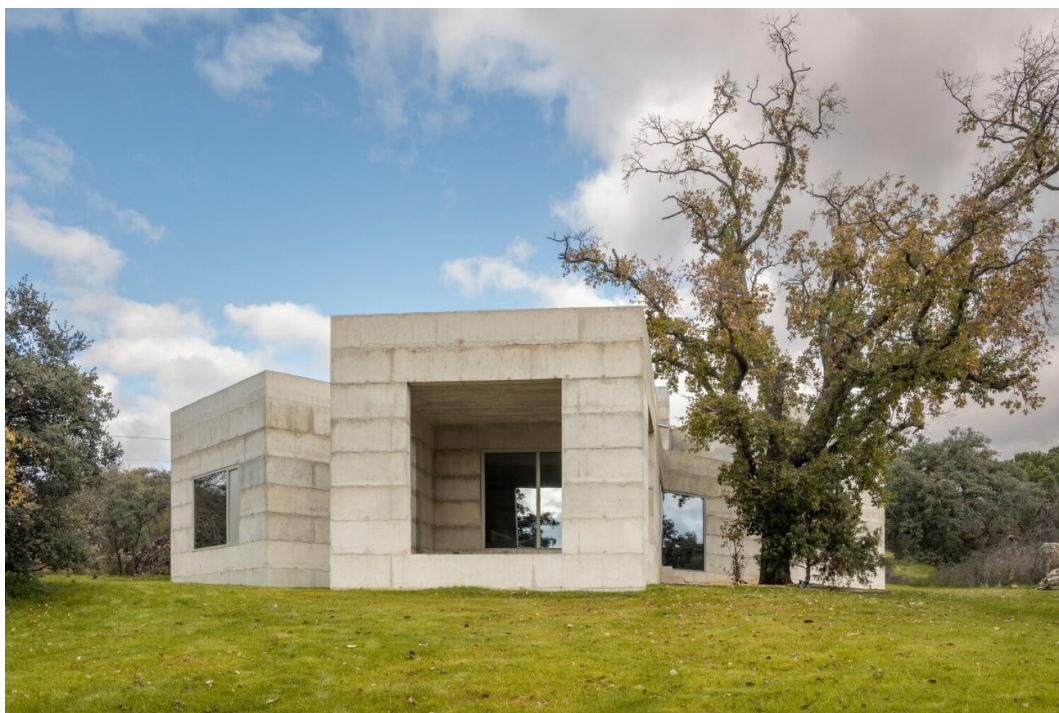


Figura 107 | House X (Luis Asin)

A opção por esta habitação justifica-se pela sua tipologia versátil, caracterizada por uma ampla área social em *open space* e por uma organização funcional clara, que permite adaptações programáticas sem comprometer a lógica distributiva. Acresce ainda o facto de as fachadas apresentarem um ritmo compositivo próximo das construções tradicionais em granito, facilitando a sua integração num contexto territorial marcado

por este material. A capacidade de adaptação da solução a diferentes tipos de terreno reforça igualmente a sua adequação a múltiplos cenários de implantação.

Os desenhos técnicos originais [Fig.108] são utilizados como base para o desenvolvimento da proposta, introduzindo-se as alterações necessárias decorrentes da substituição dos materiais. As paredes exteriores passam a ser executadas em granito, assumindo um papel estrutural fundamental, enquanto as paredes interiores são realizadas em madeira, por opção projetual. Determinados elementos construtivos, como a cobertura, o sistema de aquecimento por piso radiante e o sistemas de isolamento por cortiça expandida, são definidos no âmbito desta proposta, uma vez que as soluções originais não são conhecidas.

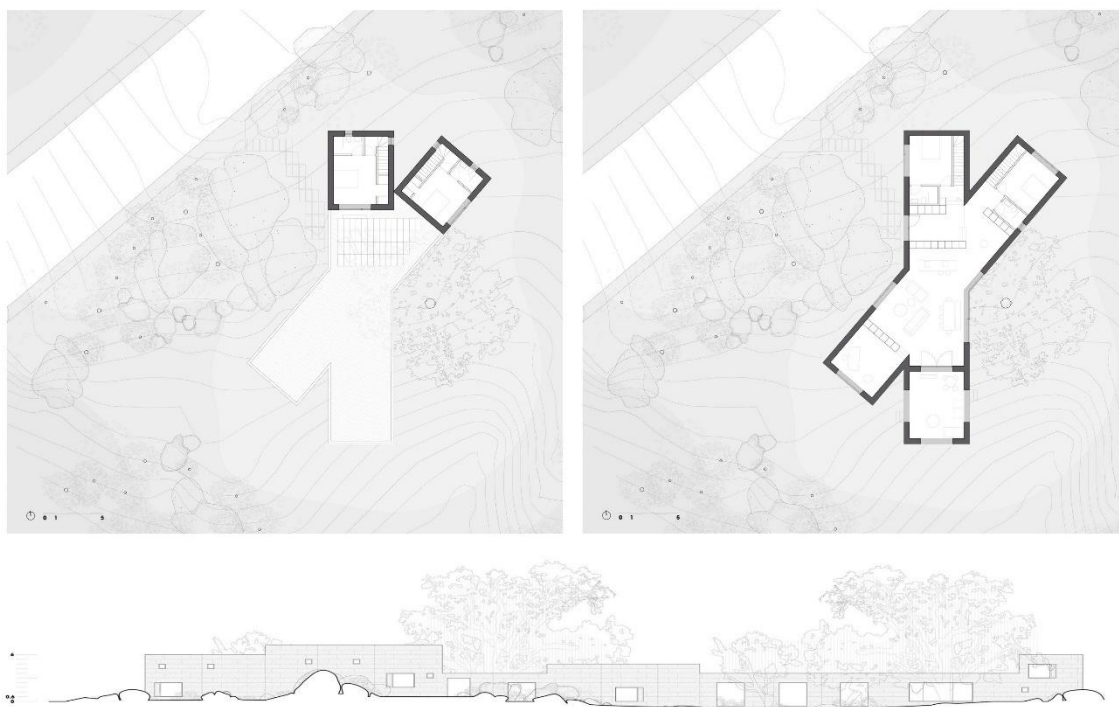


Figura 108 | Desenhos técnicos da House X [Adaptado a partir de (Bojaus arquitetura)]

Este capítulo organiza-se em quatro fases que descrevem o processo de execução da obra: planeamento, estrutura, interiores e finalização. Através deste exercício projetual, pretende-se demonstrar que o granito pode assumir um papel estrutural relevante na arquitetura contemporânea, ultrapassando a sua utilização meramente ornamental e afirmando-se como uma alternativa sustentável ao betão armado.

4.1| Planejamento de obra

Para começar a execução da obra é fundamental conhecer bem o material a ser utilizado, neste caso como vai ser usado o granito de Castro Daire, que pode ser transportado em blocos grandes e posteriormente fragmentado no local da construção, devido a sua caracterização.

A capacidade de carga dos camiões de transporte internacional [Fig.109], limitada a cerca de 24 toneladas, condicionou as opções de dimensionamento dos blocos de granito previstos no projeto. Este constrangimento logístico levou a que os blocos fossem definidos com dimensões máximas aproximadas de 1.5 metro de espessura, 1 metro de altura, 3 metros de largura, assegurando a viabilidade do transporte e a eficiência na montagem em obra.



Figura 109| Transporte (Autora, 2025)

Segundo a pedreira, StoneSet, é possível garantir uma separação precisa dos blocos de granito até 1 metro de altura. Assim para a proposta vão ser utilizados blocos com medidas 1 metro por 1 metro, com uma espessura de 30 centímetros. Deste modo, torna-se necessário reorganizar as plantas [Fig.110] e os alçados, tendo em conta a posição dos vãos, as dimensões dos blocos e espessura das paredes, de forma a garantir menor desperdício possível.



Figura 110| Plantas com o projeto inicial e plantas com os elementos a substituir (Autora,2025)

Nos alçados [Fig.111] é onde se evidencia a maior diferença resultante da substituição do betão armado por blocos de granito. Com o objetivo de reduzir desperdícios³⁵, surgiu a necessidade de definir blocos com diferentes dimensões, nomeadamente com 70 centímetros, 50 centímetros e 30 centímetros de largura, mantendo 1 metro de altura e

³⁵ Referência do caso de estudo "Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar"

30 centímetros de espessura, estas medidas facilitam a produção em série e a execução construtiva. Esta opção implicou uma adaptação na disposição dos vãos, de modo a adequá-los à modulação dos blocos. No entanto, esta alteração não significa que os vãos não pudessem manter-se nas posições originais, tal opção apenas resultaria num maior desperdício de material.

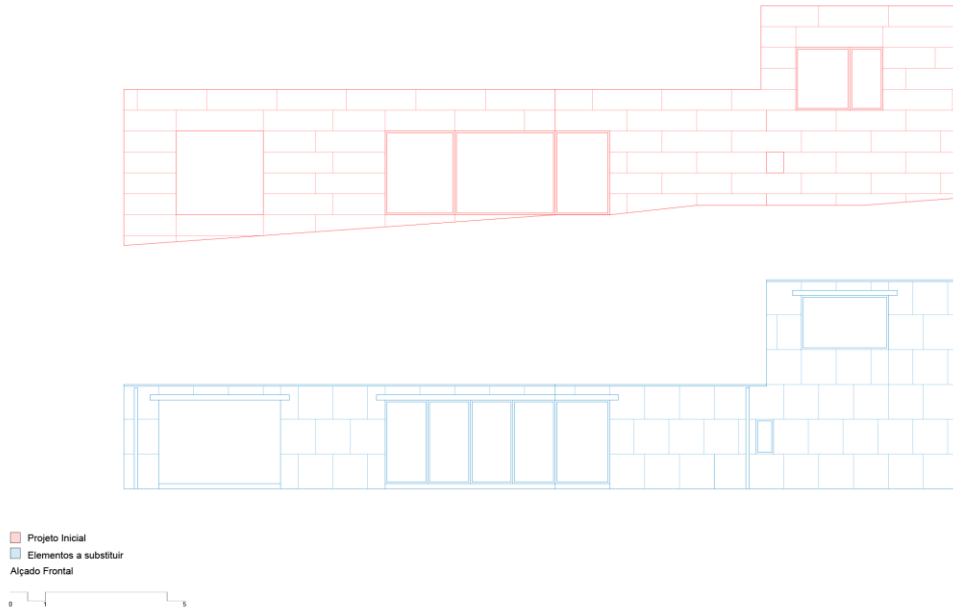


Figura 111| Alçado com o projeto inicial e alçado com elementos a substituir (Autora,2025)



Figura 112| Alçados do projeto experimental (Autora,2025)

Com as medidas definidas, pode-se iniciar a separação dos blocos grandes em placas com 30 centímetros x 1 metro x 3 metros, obtendo-se cinco placas a partir de um único bloco [Fig.113]. A realização desta separação pode ser feita com guilhos, maretas, picos e martelo pneumático.

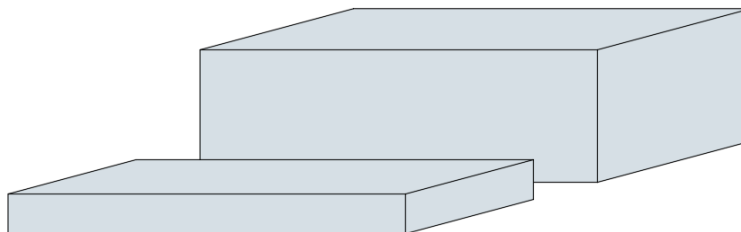


Figura 113| Separação das placas em granito (Autora,2025)

Com base nos alçados e plantas do projeto, foi possível quantificar o número total de blocos necessários para a execução da estrutura [Tab.5]. Como os B50³⁶ são obtidos a partir da divisão dos B100³⁷, isso corresponde a mais 24 unidades destes. Já os B30³⁸ não foram cotados separadamente, pois são aproveitamentos B70³⁹. As somas dos blocos inteiros no total são precisas 300 dos B100, desta forma vão ser necessário 20 blocos grandes, o que corresponde a 10 caminhões para transportar todo o material estrutural.

Tabela 5| Tabela dos Blocos (Autora,2025)

Tipo de bloco	Dimensão	Quantidade
B100	1m x 1m	224
B70	1m x 70cm	47
B50	1m x 50cm	50
B30	1m x 30cm	3

Com o planeamento é possível avançar para execução de obra, já com uma estimativa clara das quantidades e formatos. Nos próximos pontos, será abordada de forma mais aprofundada a organização construtiva e o sistema de montagem adotado.

³⁶ Bloco de granito de 1 metro x 50 centímetros x 30 centímetros

³⁷ Bloco de granito de 1 metro x 1 metro x 30 centímetros

³⁸ Bloco de granito de 30 centímetros x 1 metro x 30 centímetros

³⁹ Bloco de granito de 1 metro x 70 centímetros x 30 centímetros

4.2| Intervenção na Estrutura

A partir do descrito, inicia-se a execução da obra com a realização de uma fundação contínua de betão armado na base das paredes, moldada conforme a geometria definida na planta do projeto, que servirá de apoio para a posterior colocação dos blocos. Em seguida, procede-se à colocação da primeira fiada de blocos [Fig.114], deixando os vãos destinados às janelas e portas. As juntas entre os blocos são preenchidas com argamassa de cimento, assegurando a estabilidade da estrutura.

Legenda de materiais:

- 1- Base de betão armado
20cm
- 2- Bloco de granito
30cm x 100cm x 70cm
- 3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
- 4- Bloco de granito
30cm x 100cm x 50cm

Instruções:

- 1- Construção da base de betão armado
- 2- Cortar as laterais dos blocos para aplicação argamassa de cimento
- 3- Colocação do blocos de granito com espaços para janelas e portas.

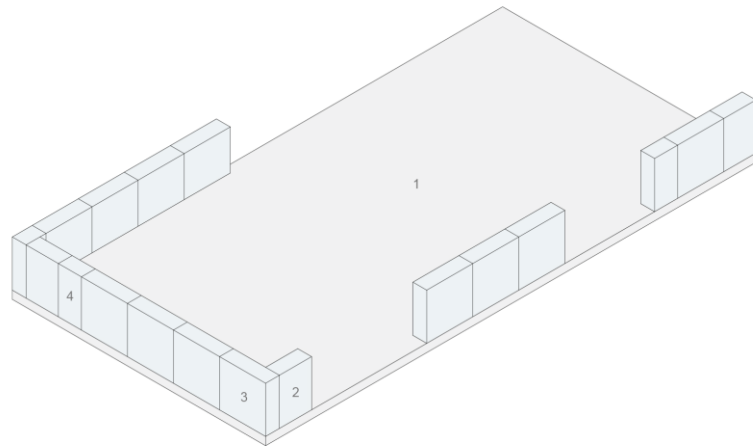


Figura 114| Primeira fiada (Autora,2025)

Passa-se, então, à colocação da segunda fiada de blocos [Fig.115], seguindo o traçado indicado pelos alçados. Deverão ser utilizadas cunhas de madeira para alinhar corretamente os blocos, garantindo o nivelamento e o prumo da fiada.

Legenda de materiais:

- 1- Base de betão armado
20cm
- 2- Bloco de granito
30cm x 100cm x 70cm
- 3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
- 4- Bloco de granito
30cm x 100cm x 50cm

Instruções:

- 1- Colocação da segunda fiada de blocos de granito

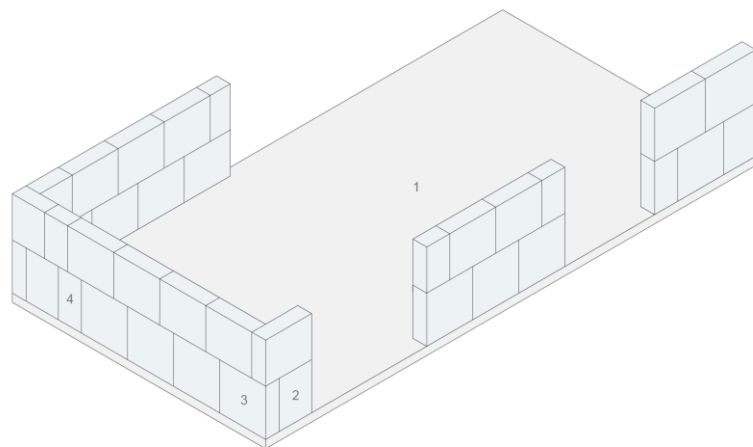


Figura 115| Segunda Fiada (Autora,2025)

Na última fiada, os blocos deverão ter um corte no topo com uma inclinação de 9%, de forma a permitir o correto assentamento da chapa de zinco de remate da cobertura. Alguns blocos possuem ainda aberturas destinadas à passagem de tubos de queda pluviais. Para identificar com precisão a localização desses blocos, foi elaborada uma planta de implantação [Fig.116] que indica os respectivos pontos de passagem.

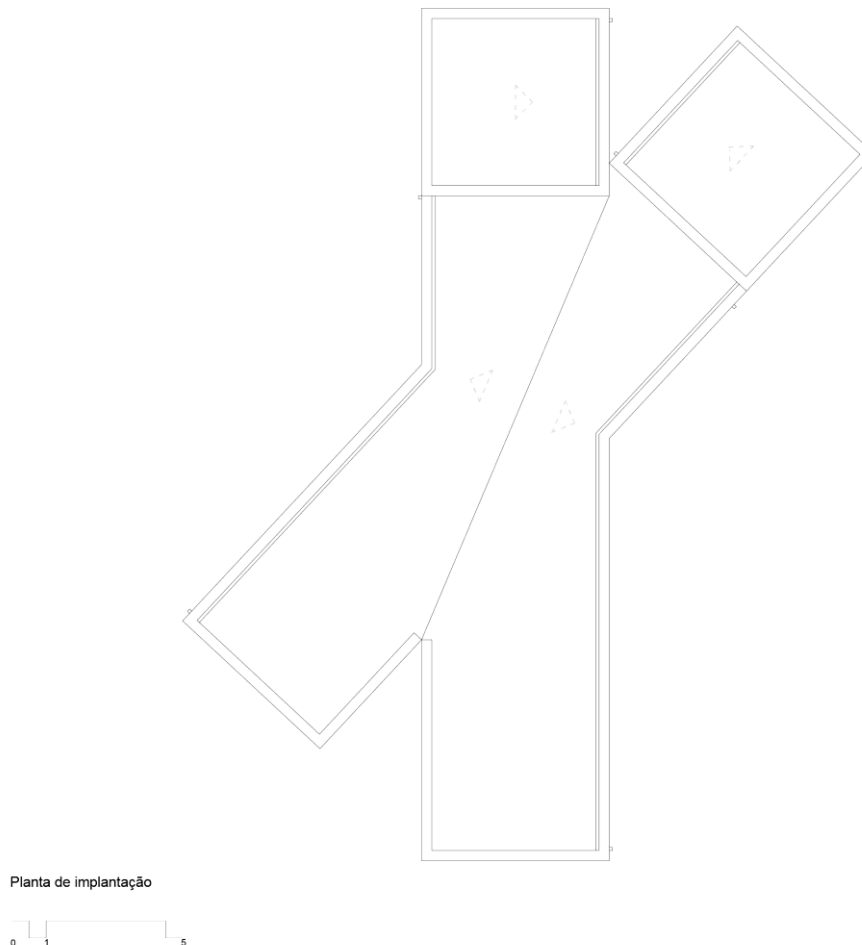


Figura 116| Planta de implantação (Autora,2025)

O bloco localizado junto à janela será cortado um retângulo de 30 centímetros x 15 centímetros x 25 centímetros, de forma a permitir o encaixe de uma viga que pode ser de madeira ou betão armado⁴⁰. Após a instalação das vigas, serão colocados os blocos B30 na sua parte superior [Fig.117]. Desta forma, aproveitam-se 35 B30 que, de outra forma, seriam desperdiçados.

⁴⁰ Referência do caso de estudo “Can Lis”

Legenda de materiais:
1- Base de betão armado
20cm
2- Bloco de granito
30cm x 100cm x 70cm
3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
4- Bloco de granito
30cm x 100cm x 50cm
5- Bloco de granito
30cm x 30cm x 100cm
6- Viga
30cm x 15cm

Instruções:
1- Colocação da terceira fiada de blocos de granito
2- Preparação dos blocos junto à janela, recorta-se um retângulo nos blocos de granito, com dimensões 30 cm x 15 cm x 25 cm, para permitir a aplicação da viga.
3- Colocação da viga
4- Assentamento dos blocos de granito sobre a viga, colocam-se blocos de granito 5 por cima da viga.

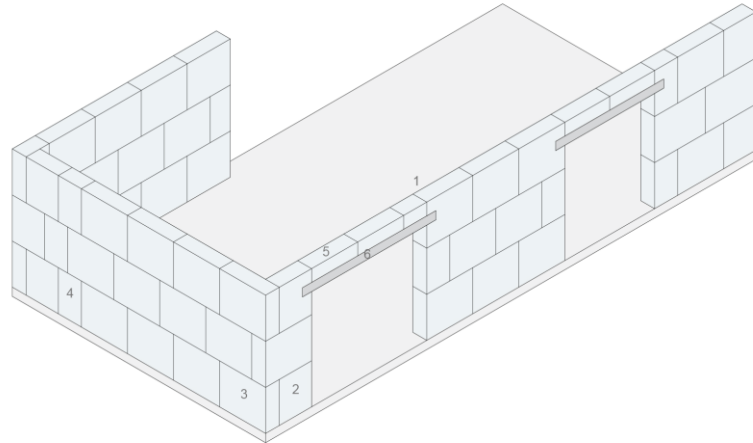


Figura 117| Última fiada (Autora,2025)

Existe uma descontinuidade na parede onde os dois retângulos se encontram. Nesse ponto, será utilizado betão para garantir a união entre os elementos, uma vez que, se essa ligação fosse feita em pedra, haveria um grande desperdício de material e seriam necessários muitos cortes para alcançar o ângulo desejado.

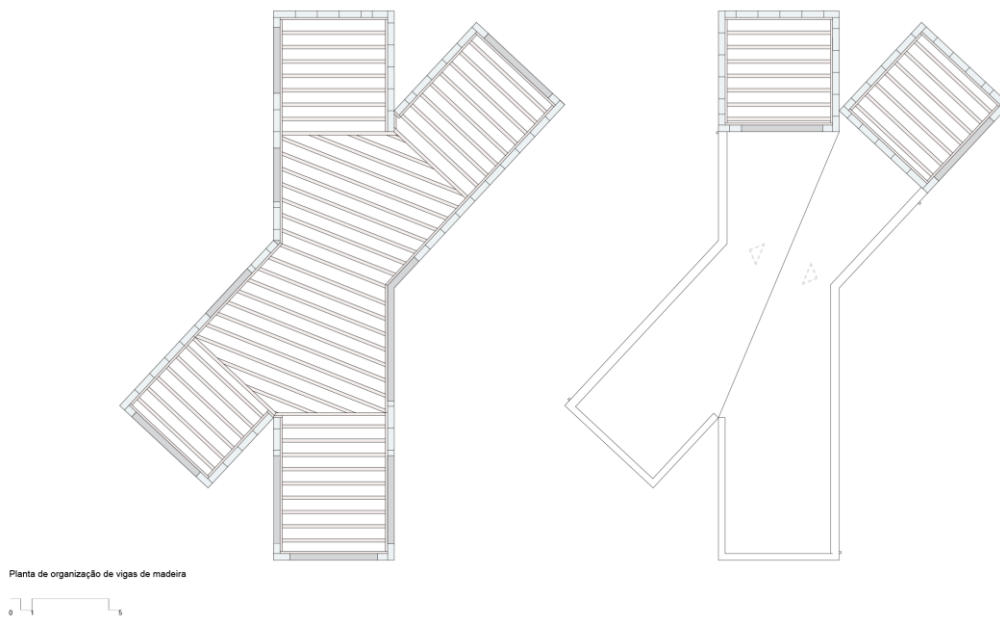


Figura 118| Organização de vigas de madeira usadas no teto (Autora,2025)

Inicia-se assim a execução da cobertura⁴¹ [Fig.118], nas laterais das parede serão afixadas vigas de madeira com tamanho 10 centímetros por 20 centímetros, posicionada a uma altura de 2.55 metros a partir da base de betão. O comprimento destas vigas varia de

⁴¹ Referência do caso de estudo "Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar"

acordo com a planta. Para além das vigas fixadas [Fig.119] nas paredes, serão colocadas vigas de madeira na horizontal para formar uma moldura, estas vigas têm as dimensões de 15 centímetros por 20 centímetros, com espaçamento de 50 centímetros.

- Legenda de materiais:
- 1- Base de betão armado
20cm
 - 2- Bloco de granito
30cm x 100cm x 70cm
 - 3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
 - 4- Bloco de granito
30cm x 100cm x 50cm
 - 5- Bloco de granito
30cm x 30cm x 100cm
 - 6- Viga
30cm x 15cm
 - 7- Viga madeira
15cm x 20cm x 470cm
 - 8- Viga madeira
10cm x 20cm

- Instruções:
- 1- Fixação das vigas 8 na parede de granito
 - 2- Criação de uma grelha com as vigas 7 para o assentamento do teto

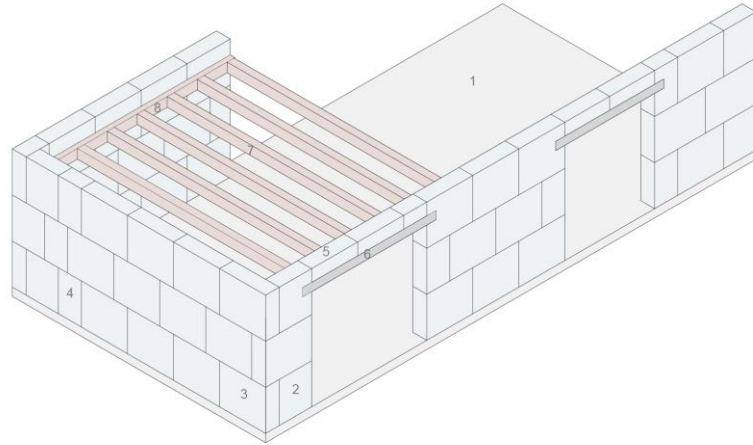


Figura 119| Colocação da moldura de madeira (Autora,2025)

Inicia-se assim a execução das camadas teto [Fig.120]. É aplicada uma tela impermeabilizante sobre a pedra para proteção de infiltrações. Sobre esta tela coloca-se a primeira placa de OSB, com 3 cm de espessura, apoiada na moldura madeira antes criada. Segue-se a aplicação de cortiça expandida com 3 cm de espessura e, por fim, colocam-se as placas de OSB com 2 cm de espessura.

- Legenda de materiais:
- 1- Base de betão armado
20cm
 - 3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
 - 16- Chapa de zinco
3 cm
 - 17- Chapa metálica
3 cm
 - 18- Ripas madeira
4cm x 490cm
 - 19- Tela impermeabilizante
 - 20- Tubo pluvial
9cm x 285cm x 9cm

- Instruções:
- 1- Colocação da tela impermeabilizante sobre as placas OSB.
 - 2- Colocação do elemento 18 para criar a inclinação em direção ao elemento 17.
 - 3- Colocação do elemento 16 para evitar acúmulo de água, direcionando-a para o elemento 20.

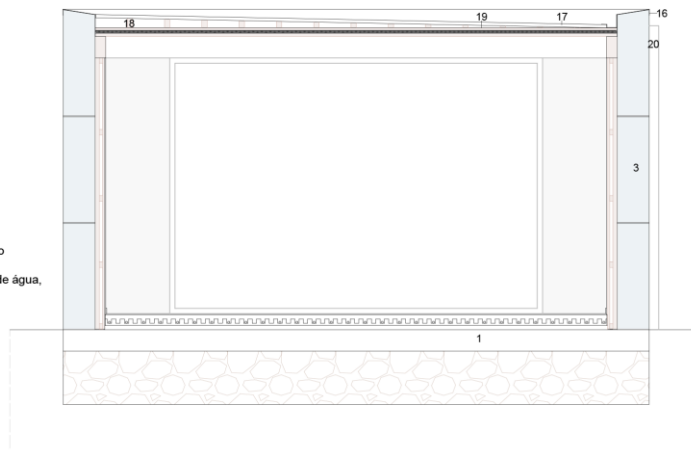


Figura 120| Detalhe construtivo da cobertura (Autora,2025)

Após a colocação do tetos aplica-se uma tela impermeabilizante para reforçar a proteção contra infiltrações. Sobre essa tela são fixadas ripas de madeira com 4 cm de espessura, dispostas com altura variável para criar a inclinação necessária para suportar as chapas metálicas de cobertura, com 3 cm de espessura. Estas chapas conduzem a água da chuva até à caleira metálica, que a direciona para o tubo de queda pluvial.

Para a construção do piso superior [Fig.121], serão executadas duas vigas de betão armado com as medidas 30 centímetros x 17 centímetros x 490 centímetros, fixadas nas paredes estruturais de granito. Estas vigas são subpostas por cima das placas de OSB do teto, garantindo assim que estas não sejam expostas. O teto e a cobertura deram ser executados com previamente descritos.

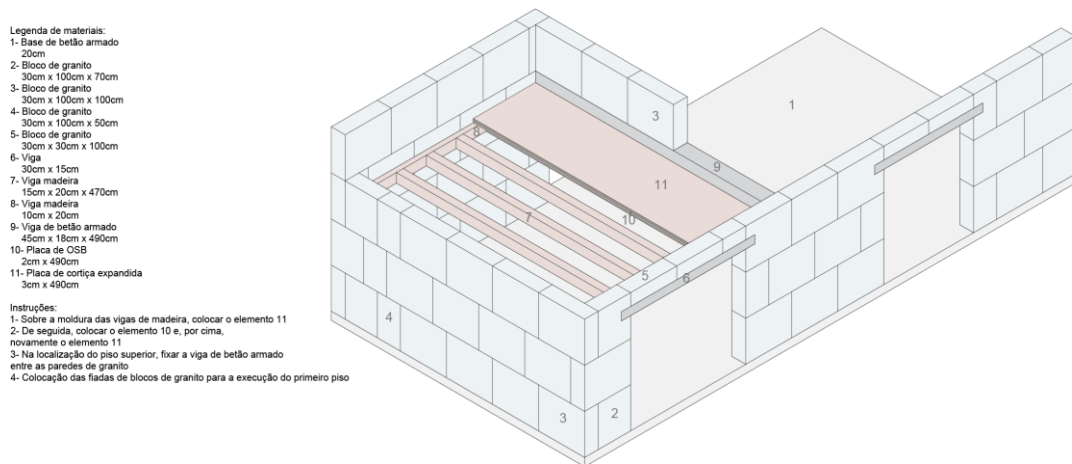


Figura 121| Execução do piso superior (Autora,2025)

A escolha das soluções como o colocar o betão armado em alguns pontos estratégicos, madeira no interior e o aproveitamento de blocos demonstra uma abordagem consciente sustentáveis e económicas.

4.3| Tratamento das Paredes Interiores

Ao fim de montar a estrutura principal inicia-se a aplicação das camadas interiores. Esta É feita através de ripas de madeira [Fig.122] com dimensões 7 centímetros x 255 centímetros x 5 centímetros. A distância entre estas pode variar consoante o tamanho da paredes, mas deve haver sempre a presença de uma ripa próxima dos vãos, estas são fixadas diretamente na parede exterior com parafusos.

- Legenda de materiais:
- 3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
 - 7- Viga madeira
15cm x 20cm x 470cm
 - 8- Viga madeira
10cm x 20cm
 - 12- Ripas madeira
7cm x 250cm x 5cm
- Instruções:
- 1- Fixação do elemento 12 às paredes de granito por aparafusamento

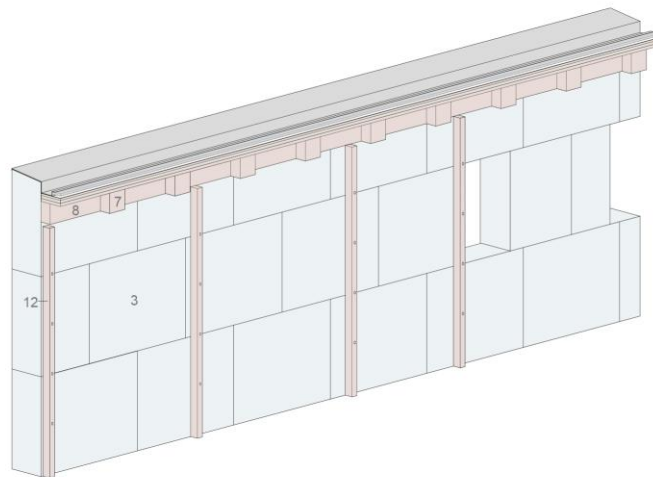


Figura 122| Fixação das ripas de madeiras (Autora,2025)

De seguida [Fig.123], são colocadas vigas na horizontal de 3 centímetros x 5 centímetros, que servem de apoio o isolamento térmico e reforçam a fixação das placas de OSB. O isolamento térmico de 3 centímetros, será cortiça expandida, uma solução sustentável, de origem natural e com um custo médio. Entre a parede de pedra e o isolamento é criada uma caixa de ar de 4 cm, que contribui para melhorar o desempenho térmico e prevenir a formação de humidade.

- Legenda de materiais:
- 3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
 - 7- Viga madeira
15cm x 20cm x 470cm
 - 8- Viga madeira
10cm x 20cm
 - 12- Ripas madeira
7cm x 250cm x 5cm
 - 13- Placa cortiça expandida
3cm
 - 14- Ripas madeira
3cm x 5cm
- Instruções:
- 1- Fixação do elemento 14 ao elemento 12
 - 2- Colocação do elemento 13 na moldura criada pelas ripas

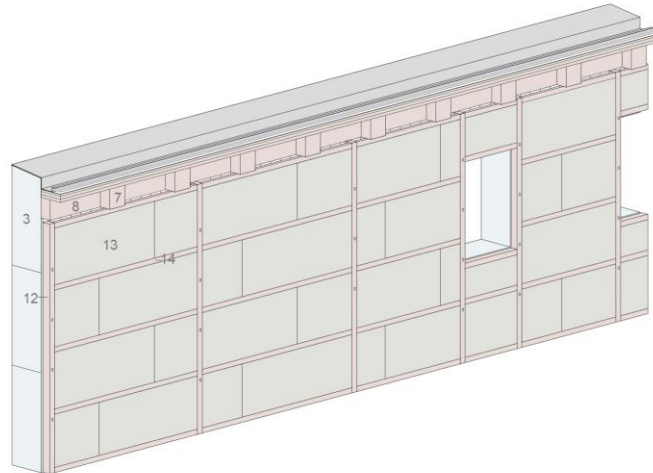


Figura 123| Colocação do isolamento (Autora,2025)

Sobre a moldura de madeira e a cortiça expandida são aplicadas placas de OSB de 2 centímetros de espessura, a largura das placas pode variar consoante as dimensões das paredes [Fig.124]. Estas podem ser fixadas à moldura com parafusos ou através de uma pistola de pregos. Nas zonas com janelas as placas de OSB unidas em formato “L” para permitir uma união sólida e continua.

- Legenda de materiais:
- 3- Bloco de granito
30cm x 100cm x 100cm
 - 7- Viga madeira
15cm x 20cm x 470cm
 - 8- Viga madeira
10cm x 20cm
 - 12- Ripas madeira
7cm x 250cm x 5cm
 - 15- Placa OSB
2cm
- Instruções:
- 1- Fixação do elemento 15
 - 2- Depois a aplicação do reboco

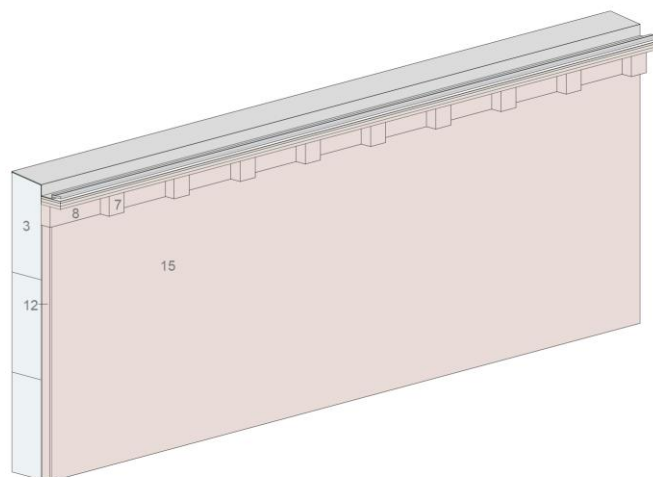


Figura 124| Colocação das placas de OSB (Autora,2025)

As paredes interiores de separação de espaços [Fig.125] serão assentes sobre a base de betão armado e terão uma espessura total 15 centímetros. A sua constituição será da seguinte forma: 1.5 centímetros de placa OSB, 7 centímetros de caixa de ar com cortiça expandida no interior de 3 centímetros e 1.5 centímetros de placa OSB. Esta composição garante um bom desempenho térmico e acústico, mantendo a leveza e sustentabilidade da construção.

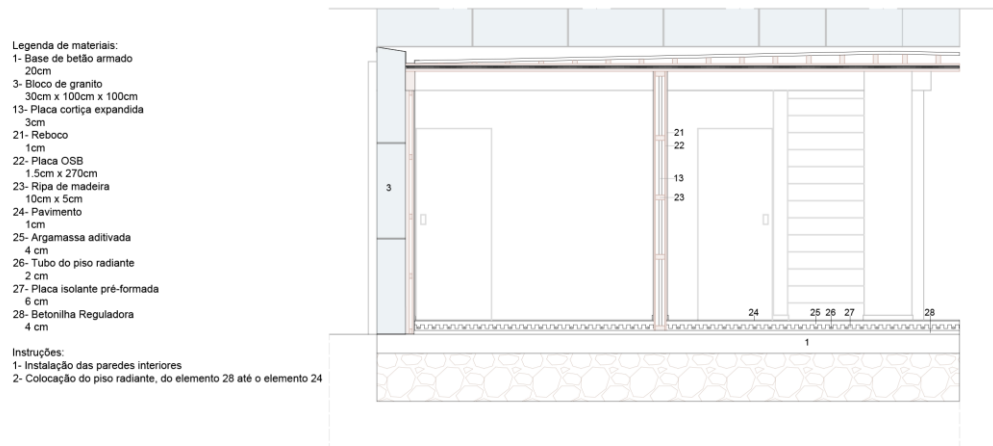


Figura 125| Detalhe construtivo da parede interior e piso radiante (Autora,2025)

Antes da colocação do pavimento e do reboco, é fundamental proceder à passagem das tubagens de água, esgotos e das condutas elétricas. Esta etapa deve ser realizada com garantia que as infraestruturas fiquem bem posicionadas. Ao serem instaladas antes do chão e do reboco, estas redes ficam completamente embutidas, conferindo um acabamento limpo e organizado dos espaços interiores.

Procede-se ao reboco das paredes que deverá ter 1 centímetro de espessura, para garantir uma boa aderência do reboco às placas de OSB, é colocada uma rede de fibra de vidro, que serve de reforço e evita o aparecimento de fissuras, esta rede permite que o reboco fixar corretamente à superfície.

Nos locais onde existam vãos de janela de grandes dimensões que chegam ao chão, não será instalado piso radiante, essas zonas devem ser preenchidas com betão, de forma a nivelar a superfície e permitir a correta fixação dos caixilhos. As janelas serão posteriormente instaladas sobre essa base de betão armado, de forma tradicional, garantindo estabilidade e estanqueidade.

Posto isto, inicia-se a instalação do piso radiante [Fig.125], começa-se com betonilha reguladora para nivelar com espessura de 4 centímetros sobre a base de betão armado. Nas laterais é colocada uma banda perimetral, que permite a dilatação térmica e evita

fissuras. Em seguida, são instaladas placas isolantes pré-formadas com 6 centímetros de espessura, nas quais são encaixados os tubos para circular água quente do sistema. Sobre esta camada, aplica-se uma argamassa aditivada com de 4 centímetros de espessura, assim pode envolver e proteger os tubos para depois aplicar o pavimento final de 1 centímetro de espessura.

O pavimento do piso superior [Fig.125] segue o mesmo princípio de execução que o do piso inferior, com a única diferença de não incluir a betonilha reguladora. Neste caso, as placas isolantes pré-formadas são diretamente apoiadas sobre as placas de OSB que constituem o teto do piso inferior, garantindo a fixação e funcionamento do sistema de piso radiante da mesma forma.

Através da proposta apresentada neste capítulo, pretende-se demonstrar que é possível conectar a tradição e a inovação, ao utilizar um material histórico como o granito de Castro Daire, sendo este usado como elemento estrutural na construção em vez de ser usado como revestimento. Na solução alternativa apresentada, verificou-se uma junção de soluções vários materiais, como blocos de granito, betão armado e madeira. Esta abordagem evidencia o potencial do granito como alternativa viável e inovadora na arquitetura habitacional contemporânea e sustentável.

Considerações finais

A presente dissertação teve como propósito resgatar a relevância da pedra enquanto usado como material estrutural na arquitetura contemporânea, considerando a sua evolução na história, as suas características técnicas e o seu carácter sustentável.

Ao longo do trabalho, ficou exposta a forma como a pedra foi, durante milénios de anos, uma base de construção, possibilitando a criação de obras de grande valor estrutural, cultural e simbólico, muitas das quais permanecem até hoje como testemunho da sua durabilidade.

Contudo, a Revolução Industrial, que levou ao surgimento de materiais como o betão armado e o aço conduziram a um declínio da sua utilização enquanto material estrutural, relegando-a sobretudo para funções mais decorativas. Esta mudança de paradigma teve implicações profundas na forma de construir e pensar a arquitetura.

Nas últimas décadas, a consciência ambiental e a urgência para a redução de emissões de carbono reabrem espaço para considerar a pedra como alternativa viável. Estudos analisados demonstram a sua baixa pegada ecológica, para além de ser associada à durabilidade, à resistência mecânica e à sua capacidade de assegurar conforto térmico, confirmando que este material não é apenas usado no passado, mas um recurso que pode ser para o contemporâneo.

A análise de obras de referência internacionais evidenciou que a pedra, reinterpretada através de técnicas atuais, permite soluções arquitetónicas inovadoras, coerentes com as exigências no presente. A aplicação da pedra não significa regressar aos arcos em pedra, mas sim combinar técnicas atuais e outros materiais.

No caso português, a atenção foi debruçada sobre o granito de Castro Daire, que apresenta uma facilidade de corte, diferente dos outros tipos de pedra, para além de reforçar a importância de valorizar recursos locais. O trabalho de campo pelas pedreiras StoneSet e Maroufi, mostra a importância de um arquiteto conhecer as origens do material com que vai trabalhar.

O projeto experimental de reinterpretação de uma habitação em betão armado para uma solução em blocos de granito, permitiu demonstrar que a pedra não é apenas viável do ponto de vista técnico, mas pode também responder a necessidades funcionais da arquitetura contemporânea. Este ensaio representa a possibilidade de construir de forma mais consciente para o meio ambiente, devolvendo à pedra o papel estrutural que lhe foi retirado após a Revolução Industrial.

Desta forma, esta investigação permite concluir que a pedra é capaz de voltar a ocupar um lugar estrutural na arquitetura contemporânea. Mais do que um simples material de construção, a pedra constitui um verdadeiro testemunho do tempo, representando permanência, durabilidade e uma forte ligação ao território. Torna-se, assim, fundamental que os arquitetos passem a valorizar de forma mais consciente os materiais que utilizam, não se limitando apenas à estética do edifício, mas considerando também o impacto ambiental das suas escolhas. Se todos fizerem a substituição de um material poluente por outro mais sustentável, isso pode fazer uma grande diferença no meio ambiente.

Bibliografia

- 15 Clerkenwell Close. Disponível em: https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsIid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aa0X6WbIXz6Eoz-JY9btwG#
- Can Lis. [página informativa institucional]. Obtido 14/01/2025 de <https://utzon.foundation/gallery>
- Can Lis, Maiorca. Disponível em: <https://arquitecturaviva.com/works/can-lis-2>
- Candeias, S. E. (2014, junho 11). *Arquitetura em pedra : construção, revestimento e relação com a paisagem* (Dissertação de Mestrado). Lisboa: Universidade Lusíada de Lisboa. Obtido de Repositório das Universidade Lusíada. (Lisboa)
- Caramelo, S. C. M. (2017, janeiro 6). *A arquitetura sustentável e os materiais de construção vernacular* (Dissertação de Mestrado). Lisboa: Universidade Lusíada de Lisboa. Obtido de Repositório das Universidade Lusíada. (Lisboa)
- Carvalho, A. P. (1993). *Cujó- Uma Terra de Riba - Paiva*. Lamego: Lamego Hoje.
- Chroniques d'architecture. (2024, setembro 10). À Fontvieille, Jardin d'Eve – pavillon d'accueil signé Perraudin. Disponível em: <https://chroniques-architecture.com/a-fontvieille-jardin-deve-pavillon-daccueil-signe-perraudin/>
- Clemente, M. F. (2012, outubro). *Estruturas em cantaria de pedra de granito de alta resistência: comportamento de juntas entre blocos* (Dissertação de Mestrado). Covilhã: Universidade da Beira Interior. Obtido de Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. (Covilhã)
- Como construir com betão, tijolos e pedras*. (1990) (611024/140 ed.). Portugal: Cetop.
- Cristóvão, F. A. M. (2016, novembro 15). *Reabilitar o passado para reutilizar no futuro Proposta de intervenção numa antiga escola primária* (Dissertação de Mestrado)

Integrado em Arquitetura). Covilhã: Universidade da Beira Interior. Obtido de Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. (Covilhã)

Curtis, W. J. R. (2008). *Arquitetura Moderna desde 1900*. Porto Alegre.

Edwards, B. (2010). *O Guia Básico Para a Sustentabilidade*. Editorial Gustavo Gili.

Extraction and use of building and roofing stone- sustainability issues. *English stone forum*. Obtido 08/12/2024 de <https://englishstone.org.uk/Sustain.html>

Ferreira, C. A. (1989). *Betão A idade da descoberta*. Lisboa: Passado Presente, Lisboa : 1989.

Griffiths, A. (2018, outubro 2). Stone skeleton of Amin Taha's 15 Clerkenwell Close pays tribute to 11th-century abbey. Disponível em: <https://www.dezeen.com/2018/10/02/amin-taha-groupwork-15-clerkenwell-london-architecture/>

Kerr, J., Rayburg, S., Neave, M., & Rodwell, J. (2022). Comparative Analysis of the Global Warming Potential (GWP) of Structural Stone, Concrete and Steel Construction Materials. *Artigo de Revista Científica*, 15. <https://doi.org/10.3390/su14159019>

Leray. (2019, setembro 24). Sur cette pierre, Gilles Perraudin bâtit une maison. Disponível em: <https://chroniques-architecture.com/perraudin-maison-individuelle-montelimar/>

Maison Individuelle a Montelimar, France Atelier Architecture Perraudin. (2019, julho). Caue-Observatoire. Obtido de <https://www.caue-observatoire.fr/wp-content/uploads/2019/07/dossier-pour-presse.pdf>

Maison pierre et bois massif à Montélimar. [página informativa institucional]. Obtido de <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Mourão, J., & Pedro, J. B. (2012). *Princípios de edificação sustentável*. LNEC.

Murphy, D. (2018, julho 18). A song in stone: 15 Clerkenwell Close, London, UK, by Amin Taha + Groupwork. Disponível em: <https://www.architectural->

review.com/buildings/a-song-in-stone-15-clerkenwell-close-london-uk-by-amin-taha-groupwork

Natural Stone the oldest sustainable material. (2011, março). *Stone Federation Great Britain*, 24.

Pavillon d'accueil de la carrière de Fontvieille (13). [página informativa institucional]. Obtido 25/01/2025 de <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Perreira, E. (1940). *A Catedral da Guarda e o seu Retábulo*. Porto Tipografia Porto Médico Lda.

Pinheiro, F. C. F. (2014, junho). *Património e Pousadas Uma intervenção arquitetónica no Santuário de Nossa Senhora do Cabo* (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura). Covilhã: Universidade da Beira Interior. Obtido de Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. (Covilhã)

Pinto, A. C. R. s, Alho, A. A., Moura, A. A. C. A., Henriques, A. M. E., Carvalho, C. I. P., Ramos, J. M. F., ... Mestre, V. *Manual da Pedra Natural para Arquitectura*. Lisboa: Direção Geral de Geologia e Energia.

Quinaz, C. (2020, dezembro 15). *A Catedral da Guarda. Contributos para a releitura da metamorfose arquitetónica* (Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura). Porto: Universidade Porto. Obtido de FAUP. (Porto)

Ramos, L. C. A. (2015, julho 14). *Sustentabilidade – Escolhas e Atitudes Projetuais* (Dissertação de Mestrado). Covilhã: Universidade da Beira Interior. Obtido de Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. (Covilhã)

Ribeiro, C. M. M. (2013, outubro). *Avaliação do desempenho de revestimentos superficiais na durabilidade de pedra de construção* (Dissertação de Mestrado). Braga: Universidade do Minho. Obtido de Repositório UM. (Braga)

Roca, P., Lourenço, P. B., & Gaetani, A. (2019). *Historic Construction and Conservation Materials, Systems and Damage* (Routledge). New York: Routledge. Obtido de <https://catalogo.ubi.pt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=102454>

- Silva, A. M. G. (2021, junho 1). *O betão armado como elemento de expressão plástica da arquitetura* (Dissertação de Mestrado). Lisboa: Universidade Lusíada de Lisboa. Obtido de Repositório das Universidade Lusíada. (Lisboa)
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (2007). Construção sustentável: o caso dos materiais de construção. Em *Congresso Construção 2007* (p. 10). Coimbra: Universidade Coimbra. Obtido de <https://hdl.handle.net/1822/7542>
- Toscano, M. da C. C. A. (2012). *A fábrica de moagem do Caramujo: património industrial da Cova da Piedade: percursos de salvaguarda e reutilização* (Dissertação de Mestrado em Estudos do Património). Lisboa: Universidade Aberta. Obtido de <http://hdl.handle.net/10400.2/2099>
- Trotter, A. In residence at Can Lis The home of Architect Jørn Utzon. Disponível em: <https://openhouse-magazine.com/jorn-utzon-can-lis/>
- United Nations Environment Programme, & Global Alliance for Buildings and Construction. (2025). Not just another brick in the wall: The solutions exist - Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025, 94.
- Vierra, S. (2022, fevereiro 24). *Manufacturing Impacts: Natural Stone vs. Precast Concrete* [Pagina da empresa]. Obtido 08/12/2024 de <https://usenaturalstone.org/manufacturing-impacts-natural-stone-vs-precast-concrete/>
- Víllora, A. P. G., & Salom, L. B. (2011). Evolución histórica del arco como elemento estructural. *Universitat Politècnica de València*. Obtido de <http://hdl.handle.net/10251/12871>
- Viseu, J. C. S. (1993). *História do Betão Armado em Portugal (Incluido a História do Betão Pré-Esforçado)*. Lisboa: ATIC.
- Webb, S. (2020, maio 29). Why the time is ripe for a return to stone as a structural material. Obtido 08/12/2024 de <https://www.ribaj.com/intelligence/stone-as-a-structural-material-embodied-carbon-sustainability>

Wilson, R. (2019, janeiro 20). Heralding the new stone age: Amin Taha's 15 Clerkenwell Close. Obtido de <https://www.architectsjournal.co.uk/buildings/heralding-the-new-stone-age-amin-tahas-15-clerkenwell-close>

Bibliografia de Figuras

Fig. 1| Freitas, M. A. (2020). Saqqara, o local que guarda diversos segredos e tesouros do Egito - Segredos do Mundo [Imagem]. Segredos do Mundo. <https://segredosdomundo.r7.com/saqqara/>

Fig. 2| Rome tickets. (s.d.). Do templo à tumba: o legado duradouro do Panteão de Roma [Imagem]. www.tickets-rome.com. <https://www.tickets-rome.com/pt/roman-pantheon-tickets/about/>

Fig. 3| Autora (2024). Esquízo do comportamento de forças [Desenho]

Fig. 4| Autora (2024). Arco das Portas do sol, Guarda [Imagem]

Fig. 5| Mallorca Tickets. (s.d.). Ingressos e visitas à Catedral de Palma de Maiorca [Imagem]. www.tickets-mallorca.com. <https://www.tickets-mallorca.com/pt/catedral-de-palma/>

Fig. 6| Autora (2024). Catedral da Guarda [Imagem]

Fig. 7| Autora (2024). Nave Central [Imagem]

Fig. 8| Autora (2024). Nave Lateral [Imagem]

Fig. 9| Autora (2024). Pilar Cruciforme [Imagem]

Fig. 10| Autora (2024). Cruzeiro [Imagem]

Fig. 11| Autora (2024). Contraforte Catedral [Imagem]

Fig. 12| Quinaz, A. (2020). Arcobotante sob a nave sul atualmente [Imagem]. Retirado da página 111 da dissertação de mestrado integrado em arquitetura “A Catedral da Guarda Contributos para a releitura da metamorfose arquitetónica”. <https://hdl.handle.net/10216/131953>

Fig. 13| Autora (2024). Comportamento de forças dos contrafortes [Desenho]

Fig. 14| Autora (2024). Planta de abóbadas [Desenho]. Adaptação da planta retirada da página 120 da dissertação de mestrado integrado em arquitetura “A Catedral da Guarda Contributos para a releitura da metamorfose arquitetónica”. <https://hdl.handle.net/10216/131953>

Fig. 15| Bary, J. (2015). Nova York – Brooklyn Bridge [Imagem]. Viajento. <https://viajento.com/2015/11/05/nova-york-brooklyn-bridge/>

Fig.16| Henry, J. (2012). BARCOS DE CIMENTO [Imagem]. Meio Século de Aprendizagens. <https://meioseculodeaprendizagens.blogspot.com/2012/03/barcos-de-cimento.html>

Fig. 17| Vieira, M. (s.d.). DB-Heritage [Imagem]. DB-Heritage. https://db-heritage.lnec.pt/gtrabalho_7_3.html

Fig. 18| Garage Ponthieu rue Ponthieu Paris 8 Auguste Perret [Imagem]. (s.d.). Paris Promeneurs - Decouvrir l'architecture et l'histoire de Paris. <https://paris-promeneurs.com/le-garage-ponthieu-demoli/>

Fig. 19| Casino municipal [Imagem]. (s.d.). Site officiel de la Ville de Biarritz. <https://www.biarritz.fr/culture-/-kultura/balades-historiques/casino-municipal>

Fig. 20| Toscano, M. C. (2022). António José Gomes (1847-1909), a fábrica e a casa [Imagem]. Almada virtual. <https://almada-virtual-museum.blogspot.com/2018/02/a-fabrica-e-casa-antonio-jose-gomes.html>

Fig. 21| Wikimedia. (2009). Fábrica de Moagem do Caramujo – Wikipédia, a enciclopédia livre [Imagem]. Wikipédia, a enciclopédia livre. https://pt.wikipedia.org/wiki/Fábrica_de_Moagem_do_Caramujo

Fig. 22| Caramelo, S. C. M. (2017). Esquema demonstrativo dos elementos da sustentabilidade [Imagem]. Retirado da página 30 da dissertação de mestrado “A arquitetura sustentável e os materiais de construção vernacular”. <http://hdl.handle.net/11067/2601>

Fig. 23| Caramelo, S. C. M. (2017). Ciclo da vida dos edifícios [Imagem]. Retirado da página 52 da dissertação de mestrado “A arquitetura sustentável e os materiais de construção vernacular”. <http://hdl.handle.net/11067/2601>

Fig. 24| Natural Stone the oldest sustainable material (2011). Gráfico sobre a incorporação do carbono nos materiais [Imagem]. Stonefed <https://www.stonefed.org.uk/>

Fig. 25| Natural Stone the oldest sustainable material (2011). Gráfico com a diferença de CO₂ entre tipo pedras [Imagem]. Stonefed <https://www.stonefed.org.uk/>

Fig. 26| Webb, S. (2020). Emissão carbónica dos materiais [Imagem]. RIBAJ <https://www.ribaj.com/intelligence/stone-as-a-structural-material-embodied-carbon-sustainability>

Fig. 27| Vierra, S. (2022). Comparação de produção de pedra e pré-fabricados de betão [Imagem]. Use Natural Stone <https://usenaturalstone.org/manufacturing-impacts-natural-stone-vs-precast-concrete/>

Fig. 28| Soar, T. (2017). Contraste do edifício com a Igreja St. [Imagem]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 29| Soar, T. (2017). Edifício com envolvente [Imagem]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 30| Amin Taha Architects and Groupwork. Planta piso -1 [Desenho]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 31| Amin Taha Architects and Groupwork. Planta piso 0 [Desenho]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 32| Amin Taha Architects and Groupwork. Planta piso 1 [Desenho]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 33| Amin Taha Architects and Groupwork. Planta piso 2 [Desenho]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 34| Amin Taha Architects and Groupwork. Alçado principal [Desenho]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 35| Amin Taha Architects and Groupwork. Corte [Desenho]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 36| Soar, T. (2017). Interior do Atelier [Imagem]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 37| Soar, T. (2017). Interior dos apartamentos [Imagem]. 15 Clerkenwell Close. Architecture https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-london-award-winners/2018/15-clerkenwell-close?srsltid=AfmBOoo3c7Q6gPuya9xoVz3PTQ24kfDD8_aaoX6WbIXz6Eoz-JY9btwG#

Fig. 38| Soar, T.. Corte das pedras usadas [Imagem]. 15 Clerkenwell Close / GROUPWORK + Amin Taha Architects. Archdaily <https://www.archdaily.com.br/br/892009/15-clerkenwell-close-groupwork-plus-amin-taha-architects>

Fig. 39| Amin Taha Architects and Groupwork. Pormenor em corte da ligação entre a fachada e o edifício [Pormenor]. 15 Clerkenwell Close / GROUPWORK + Amin Taha Architects. Archdaily <https://www.archdaily.com.br/br/892009/15-clerkenwell-close-groupwork-plus-amin-taha-architects>

Fig. 40| Amin Taha Architects and Groupwork. Pormenor em perspectiva da ligação entre a fachada e o edifício [Pormenor]. 15 Clerkenwell Close / GROUPWORK + Amin Taha Architects. Archdaily <https://www.archdaily.com.br/br/892009/15-clerkenwell-close-groupwork-plus-amin-taha-architects>

Fig. 41| Soar, T. (2017). 15 Clerkenwell Close [Imagem]. 15 Clerkenwell Close / GROUPWORK + Amin Taha Architects. Archdaily <https://www.archdaily.com.br/br/892009/15-clerkenwell-close-groupwork-plus-amin-taha-architects>

Fig. 42| Utzon Foundation. Alçado Principal [Imagem]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 43| Chin, T.. Alçado Tradoz [Imagem]. Designboom <https://www.designboom.com/architecture/jorn-utzon-can-lis-family-home-mallorca-08-02-2019/>

Fig. 44| Utzon Foundation. Alçado Tardoz [Desenho]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 45| Utzon Foundation. Planta de piso [Desenho]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 46| Arquiteturaviva. Corte do volume principal [Desenho]. Arquiteturaviva <https://arquitecturaviva.com/works/can-lis-2>

Fig. 47| Utzon Foundation. Entrada [Imagem]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 48| Utzon Foundation. Pátio sem programa [Imagem]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 49| Utzon Foundation. Pátio Principal [Imagem]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 50| Utzon Foundation. Pátio Principal [Imagem]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 51| Utzon Foundation. Sala de Estar [Imagem]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 52| Utzon Foundation. Quarto [Imagem]. Utzon Foundation <https://utzon.foundation/gallery>

Fig. 53| Candeias, S. (2014). *Bovedillas* [Imagem]. Retirado da página 116 da dissertação de mestrado integrado “Arquitetura em pedra: construção, revestimento e relação com a paisagem”. <http://hdl.handle.net/11067/894>

Fig. 54| Arquiteturaviva. Can Lis [Imagem]. Arquiteturaviva <https://arquitecturaviva.com/works/can-lis-2>

Fig. 55| Atelier d'Architecture Perraudin. Alçado Sul [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 56| Atelier d'Architecture Perraudin. Alçado Norte [Imagem]. Caue-Observatoire <https://www.caue-observatoire.fr/wp-content/uploads/2019/07/dossier-pour-presse.pdf>

Fig. 57| Atelier d'Architecture Perraudin. Diagrama de estudos [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 58| Atelier d'Architecture Perraudin. Alçados [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 59| Atelier d'Architecture Perraudin. Plantas de Piso [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 60| Atelier d'Architecture Perraudin. Cortes [Desenho]. Caue-Observatoire <https://www.caue-observatoire.fr/wp-content/uploads/2019/07/dossier-pour-presse.pdf>

Fig. 61| Atelier d'Architecture Perraudin. Interior e Exterior [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 62| Atelier d'Architecture Perraudin. Estrutura [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 63| Atelier d'Architecture Perraudin. Planeamento de blocos usados no Alçado Oeste [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 64| Atelier d'Architecture Perraudin. Planeamento de blocos usados no Núcleo Central [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 65| Autora (2024). Exemplo de fachada sem planeamento de blocos [Imagem]

Fig. 66| Atelier d'Architecture Perraudin. Maison Pierre et Bois Massif à Montélimar [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/maison-montelimar/>

Fig. 67| Atelier Architecture Perraudin. Alçado principal [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 68| Atelier Architecture Perraudin. Alçado tardoz [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 69| Piet Mondrin. Pintura *Broadway Boogie-Woogie* [Imagem]. Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Broadway_Boogie_Woogie

Fig. 70| Atelier Architecture Perraudin. Alçados [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 71| Atelier Architecture Perraudin. Planta de piso [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 72| Atelier Architecture Perraudin. Corte com envoltente [Desenho]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 73| Atelier Architecture Perraudin. Exterior e interior [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 74| Atelier Architecture Perraudin. Edificação das paredes sem argamassa sobre a base de betão armado [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 75| Atelier Architecture Perraudin. Encaixes esculpidos nos blocos [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 76| Atelier Architecture Perraudin. Pavillon D'accueil de la Carrière de Fontvieille [Imagem]. Atelier Perraudin <https://atelierperraudin.com/travaux/pavillon-accueil-fontvieille-perraudin/>

Fig. 77| Autora (2024). Relação paisagem montanhosa com fluxo da pedreira [Imagem]

Fig. 78| Autora (2024). Contraste de texturas do granito [Imagem]

Fig. 79| Autora (2024). Pedreira [Imagem]

Fig. 80| Autora (2024). Separação de bloco do solo [Imagem]

Fig. 81| Autora (2024). Divisão de blocos [Imagem]

Fig. 82| Autora (2024). Acabamento lateral [Imagem]

Fig. 83| Autora (2024). Técnica antiga a usar pico martelo [Imagem]

Fig. 84| Autora (2024). Dendrítico [Imagem]

Fig. 85| Autora (2024). Transformação de desperdícios em cubos para calçada [Imagem]

Fig. 86| Autora (2024). Maroufi [Imagem]

Fig. 87| Autora (2024). Tijolo de granito [Imagem]

Fig. 88| Autora (2024). Viga de granito [Imagem]

Fig. 89| Autora (2024). Máquina de corte [Imagem]

Fig. 90| Autora (2024). Máquina de acabamento [Imagem]

Fig. 91| Autora (2024). Máquina de corte no bloco grande [Imagem]

Fig. 92| Autora (2024). Babete [Imagem]

Fig. 93| Autora (2025). Cujó [Imagem]

Fig. 94| Autora (2024). Uma das construções mais antigas de Cujó [Imagem]

Fig. 95| Autora (2024). Igreja de Cujó [Imagem]

Fig. 96| Autora (2024). Ampliações das construções em pedra [Imagem]

Fig. 97| Autora (2024). Rua com construções antigas [Imagem]

Fig. 98| Autora (2024). Adição de tijolo [Imagem]

Fig. 99| Autora (2024). Reboco sobre paredes de pedra [Imagem]

Fig. 100| Autora (2024). Palheiro de 1886 a lado de uma habitação de 2018 [Imagem]

Fig. 101| Autora (2024). Habitação com parede mista com pedra [Imagem]

Fig. 102| Autora (2024). Parede mista com granito e tijolo [Imagem]

Fig. 103| Autora (2024). Viga de betão armado ao lado de parede de pedra [Imagem]

Fig. 104| Autora (2024). Viga de pedra [Imagem]

Fig. 105| Autora (2024). Pilar de pedra [Imagem]

Fig. 106| Autora (2024). Identidade territorial contemporânea [Imagem]

Fig. 107| Luis Asin. House X [Imagem]. Divisare <https://divisare.com/projects/526561-bojaus-arquitectura-luis-asin-house-x>

Fig. 108| Autora (2025). Desenhos técnicos da House X [Desenho]. Adaptação dos desenhos técnicos realizados por Bojaus Arquitectura.

Fig. 109| Autora (2025). Transporte [Imagem]

Fig. 110| Autora (2025). Plantas com o projeto inicial e plantas com os elementos a substituir [Desenho]

Fig. 111| Autora (2025). Alçado com o projeto inicial e alçado com elementos a substituir [Desenho]

Fig. 112| Autora (2025). Alçados do projeto experimental [Desenho]

Fig. 113| Autora (2025). Separação das placas em granito [Desenho]

Fig. 114| Autora (2025). Primeira fiada [Desenho]

Fig. 115| Autora (2025). Segunda Fiada [Desenho]

Fig. 116| Autora (2025). Planta de implantação [Desenho]

Fig. 117| Autora (2025). Última fiada [Desenho]

Fig. 118| Autora (2025). Organização de vigas de madeira usadas no teto [Desenho]

Fig. 119| Autora (2025). Colocação da moldura de madeira [Desenho]

Fig. 120| Autora (2025). Detalhe construtivo da cobertura [Desenho]

Fig. 121| Autora (2025). Execução do piso superior [Desenho]

Fig. 122| Autora (2025). Fixação das ripas de madeiras [Desenho]

Fig. 123| Autora (2025). Colocação do isolamento [Desenho]

Fig. 124| Autora (2025). Colocação das placas de OSB [Desenho]

Fig. 125| Autora (2025). Detalhe construtivo da parede interior e piso radiante [Desenho]

Bibliografia de Tabelas

Tab. 1| Autora (2024). Tabela Pedra vs. outros materiais de construção [Tabela]. Adaptação da tabela retirada da página 6 do artigo “Natural Stone the oldest sustainable material”. <https://www.stonefed.org.uk/>

Tab. 2| Autora (2024). Tabela da densidade do material [Tabela]. Adaptação da tabela retirada da página 10 do artigo “Natural Stone the oldest sustainable material”. <https://www.stonefed.org.uk/>

Tab. 3| Autora (2024). Tabela com fase de produção [Tabela]. Adaptação da tabela retirada da página 8 do artigo “Comparative Analysis of the Global Warming Potential (GWP) of Structural Stone, Concrete and Steel Construction Materials”. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/15/9019>

Tab. 4| Autora (2024). Tabela com fase de execução [Tabela]. Adaptação da tabela retirada da página 10 do artigo “Comparative Analysis of the Global Warming Potential (GWP) of Structural Stone, Concrete and Steel Construction Materials”. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/15/9019>

Tab.5| Autora (2025). Tabela dos Blocos [Tabela]