

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITECTURA

Pedra:

Matéria, Método e Materialização

Carlos Alexandre Ferreira de Oliveira

M

2018



Faculdade de Arquitectura
Universidade do Porto
2018

Pedra: Matéria, Método e Materialização

Carlos Alexandre Ferreira de Oliveira

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura apresentado
à Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto

Orientador: Prof. Dr. António Luís Pereira Silva Neves

Nota prévia. A presente dissertação não segue as normas do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990. Todas as citações em idiomas estrangeiros foram livremente traduzidas pelo autor, todavia são sempre acompanhadas pelo excerto no idioma original.

Agradecimentos

Ao Professor António Luís Pereira Silva Neves, orientador desta dissertação, pela afabilidade e prontidão.

À Stéphanie e Ilka, por ouvirem, ensinarem, e (comigo) aguentarem, e à Sara, Carolina e Gonçalo, e todos os demais amigos cuja presença foi uma ajuda.

À família, pelo apoio e paciência incondicional.

Abstract

The present dissertation explores the history, capacities, limitations and potentialities that make one of the most predominant materials, albeit subtly, in architecture. The stone has and builds a rich, extensive and complex heritage, consequent of the areas and disciplines covered by it. Despite the arrival of the modern 20th century materials such as reinforced concrete and steel, and the alienation of stone from the structural panorama, stone's ornamental and mechanical values still prevail and mesmerize.

Through a multifaceted study and analysis, originated from the desire to investigate such preponderant substance in the definition of identity and memory, this dissertation explores and presents the various fields of knowledge pertinent to build a broad understanding of what defines stone as a building material and architectural tool. Stone is presented through three lenses that constitute the three main chapters of this work: Matter, Method and Materialization. In the first chapter, Matter, physical, mechanical and chemical proprieties and phenomena are explored, as well as the processes that generate, transform and attack stone, making it (un)suitable as a building material. In Method, the technological evolution of the material's manipulation throughout history is analyzed through a study of the industry, the market and the techniques of contemporary stone products. Finally, in Materialization, it's displayed the range of possibilities unlocked by the understanding and mastering of the characteristics that define stone and its products as they are.

This work must be understood as an explorative and expository exercise of compromise between the pamphlet and the technical manual. The root of its structure lies in the intellectual development of the understanding of stone's virtues and potentialities, but without relying on approaches that could be too technical, bureaucratic or procedural.

A presente dissertação explora a história, as capacidades, as limitações e potencialidades que constituem um dos materiais mais predominantes, ainda que subtilmente, na arquitectura. A pedra possui e constitui um património rico, extenso e complexo, conseqüente das áreas e disciplinas que abrange. Apesar do advento dos materiais modernos do século XX, como o betão armado e o aço, e do conseqüente afastamento dos materiais pétreos do panorama estrutural, as valências ornamentais e mecânicas da pedra prevalecem e seduzem.

Através de um estudo e análise multifacetado, originado pelo desejo de investigar substância tão preponderante na definição de uma identidade e memória, a presente dissertação explora e apresenta os diversos campos de conhecimento pertinentes para construir uma compreensão ampla do que define a pedra como material de construção e ferramenta de arquitectura. Apresenta-se a pedra sobre três objectivas que constituem os três capítulos principais do trabalho: Matéria, Método e Materialização. Com o primeiro capítulo, Matéria, explora-se as propriedades e fenómenos físicos, mecânicos e químicos, tal como os processos que geram, transformam e atacam a pedra, tornando-a (in) apta como material de construção. Em Método, analisa-se a evolução histórica tecnológica da manipulação do material, com análise sobre a indústria, o mercado e as técnicas dos produtos pétreos contemporâneos. Por fim, em Materialização, expõe-se a gama de possibilidades desbloqueadas pela compreensão e domínio das características que determinam os materiais pétreos.

Este trabalho deve ser assimilado como um exercício explorativo e expositivo de compromisso entre o panfleto e o manual técnico. A raiz da sua estruturação está no desenvolvimento intelectual do entendimento das virtudes e potencialidades da pedra, todavia sem recair em abordagens demasiado técnicas, burocráticas ou processuais.



Fig. 1_Eira em ardósia e construção complementar em pedra xistenta



Fig. 2_Ruína de casa em pedra xistenta com pátio em ardósia e peças de granito, provavelmente, guarnição de vãos

A presente dissertação, cujo tema é o estudo de um material de construção, é o produto de dois objectivos de vertentes académicas e pessoais.

Na vertente académica, procura-se alargar os conteúdos disponíveis à comunidade no âmbito da construção e dos materiais, pela compreensão da pedra através do estudo das suas características, processos de transformação e técnica de aplicação. Actualmente a pedra perdeu o carácter estrutural que outrora o nomeava como um dos materiais predilectos de construção, apesar das suas valências estéticas e mecânicas poderem ser exaltadas pela evolução tecnológica. A pedra encontra-se sobre diversas formas e importâncias nos projectos actuais, inovando-se e adaptando-se conforme o engenho e os recursos disponíveis.

Na vertente pessoal, o objectivo desta dissertação é investigar, ampliar e consolidar conhecimentos sobre um material com a qual existe uma forte conexão formada por uma interacção de anos com uma arquitectura que só mais tarde teria o seu nome descoberto: arquitectura vernacular.

O desejo de estudar a pedra, construção e arquitectura, conjugam-se e materializam a presente dissertação para providenciar uma narrativa sintética e abrangente sobre a sua génese, extracção, produção, transformação, mercado, aplicação e história, ilustrada com uma extensa gama de exemplos.

Índice

Agradecimentos	iii
Abstract	iv
Resumo	v
Motivação	vii
Índice	viii
Índice de Imagens	x
Introdução	3
Capítulo 1_ Matéria	11
1_Origem e Classificação	11
1.1_Litosfera	11
1.2_Mineral, unidade fundamental	13
1.3_Sistemática	17
1.4_Litogénese	21
1.4.1_Rochas Ígneas	21
1.4.2_Rochas Sedimentares	25
1.4.3_Rochas Metamórficas	29
1.5_Classificação Comercial	31
1.5.1_Granitos	33
1.5.2_Mármore	35
1.5.3_Ardósias	39
2_Material de Construção	41
2.1_Características	41
2.2_Qualidade e Normalização	49
2.3_Mercado e Promoção	51
2.4_Conservação e limpeza	55
3_Anomalias	59
3.1_A pedra também falha	59
3.2_Principais alterações	69
3.2.1_Histerese térmica	69
3.2.2_Impacto	77
3.2.3_Eflorescência	81
3.2.4_Irregularidades Superficiais	87
3.2.5_Corrosão	91
3.2.6_Descoloração	93

Capítulo 2_ Método	101
1_ Perspectiva Histórica	101
1.1_ Primeiros Pedreiros	101
1.2_ Civilizações da Antiguidade	107
1.3_ Século V a.C. a V d.C.: Domínio Romano	113
1.4_ Século V a XV: Era Medieval	121
1.5_ Século XV a XVII: Renascimento e Barroco	129
1.6_ Século XVII e XVIII: Iluminismo	133
1.7_ Século XIX: Revolução Industrial	137
1.8_ Século XX: Movimento Moderno	141
2_ Ciclo de Vida	161
2.1_ Presença e (Re)utilização	161
2.2_ Extração e Transformação	163
2.3_ Tratamentos e Acabamentos	169
2.4_ Aplicação contemporânea	175
2.4.1_ Fixação Directa	175
2.4.2_ Fixação Indirecta	181
3_ Tendências e Evolução	191
3.1_ Compósitos	191
3.2_ Extenuação da Pedra	197
3.3_ Inovação da Pedra	199
Capítulo 3_ Materialização	211
1_ Exemplos	211
1.1_ Acróple de Atenas	211
1.2_ Metro do Porto	215
1.3_ Casa das Artes	217
1.4_ Espaço Miguel Torga	219
1.5_ Armadillo Vault	221
1.6_ Möbius Seats	223
1.7_ Bureaux SNBR (HyperGate)	225
1.8_ Stone House	227
1.9_ Dominus Winery	229
1.10_ Escola de Altos Estudos Musicais	231
Considerações Finais	235
Bibliografia	241
Crédito de Imagens	245

Índice de Imagens

Fig. 1	Eira em ardósia e construção complementar em pedra xistenta	vi
Fig. 2	Ruína de casa em pedra xistenta com pátio em ardósia e peças de granito, provavelmente, guarnição de vãos.	vi
Fig. 3	Cuevas de Panoría, Darro, apresentam vestígios de arte rupestre do Neolítico	2
Fig. 4	Pontas de flecha em silex	2
Fig. 5	Dolmén Poul nabrone, Irlanda, 3600 a.C.	4
Fig. 6	Castro de Baroña, Galiza, séc. I a.C. a I d.C.	4
Fig. 7	Excerto do pilar de diorito preto (rocha ígnea intrusiva extremamente dura, usada pelos egípcios para quebrar granito) do Código de Hammurabi, um conjunto de leis da Mesopotâmia	4
Fig. 8	Al-Khazneh, O Tesouro, Petra, Jordânia, séc. II d.C., talhado no arenito rosa da região, demonstrando a perícia do talhe da época	6
Fig. 9	Talhe contemporâneo de um elemento arquitectónico clássico.	6
Fig. 10	Corte esquemático da composição terrestre	10
Fig. 11	Erupção vulcânica. O arrefecimento rápido superficial da lava gera tufo vulcânico, extremamente poroso.	12
Fig. 12	Mármore Branco. Os veios cinzentos são indicação de presença de impurezas na calcite no momento da génese	12
Fig. 13	Granito Cinza Corumbá. A textura granular permite a leitura dos diversos minerais que o compõem.	12
Fig. 14	Esquema de uma estrutura cristalina (rede modular). Exemplo para cloreto de sódio, <i>NaCl</i> , sal	14
Fig. 15	Feldspato potássico	14
Fig. 16	Conjunto de feldspatos potássicos, demonstrando a variedade existente dentro do mesmo grupo.	16
Fig. 17	Classificação da IUGS pra as rochas ígneas intrusivas (ver p. 21)	18
Fig. 18	Quartzo branco transparente, segundo mineral mais abundante da Terra	20
Fig. 19	Estratos de carvão mineral (rocha sedimentar) em montanha, Alaska. A estratificação da massa rochosa evidencia a mudança de dinâmicas da litogénese. A litogénese é uma ferramenta para determinar tempos geológicos devido à sua capacidade de registar, ao petrificá-los, aos processos inerentes à passagem do tempo.	20
Fig. 20	Esquema da litogénese das rochas ígneas.	22
Fig. 21	Comparação de dimensão dos cristais nas texturas fanerítica (gabro), afanítica (basalto) e vítrea (obsidiana)	22
Fig. 22	Esquema da relação entre orientação cristalina e condições de pressão	22
Fig. 23	Esquema da litogénese das rochas sedimentares	24
Fig. 24	Classificação das rochas sedimentares em termos de conteúdos detríticos, aloquímicos e ortoquímicos	26
Fig. 25	Gruta de Alvados, gruta calcária, Portugal. Os ciclos de fluxo e evaporação de água provocam a precipitação de calcário formando estalactites, estalagmites e colunas	26
Fig. 26	Esquema de litogénese das rochas metamórficas	28
Fig. 27	Ardósia, devido ao alto grau de xistosidade, tende a destacar-se facilmente em lâminas	28
Fig. 28	Conjunto de mármore portugueses, da esquerda para a direita, Branco com veios castanhos (Évora), Pele de Tigre (Évora), Rosa com veios verdes (Évora), Verde Serpa (Beja). A gama cromática dos mármore é extensa e rica de multitudes de texturas	30
Fig. 29	Placagem de granito porfiróide, porticado norte da rua do Dr. Magalhães Lemos (frente para Praça D. João I)	32
Fig. 30	Basalto porfirico com fenocristais (cristais de grandes dimensões em textura afanítica) brancos	32
Fig. 31	Tonalidade de granitos e granitóides portugueses: Branco Porto, Cinzento de Rio de Moinhos, Azul Tragal, Rosa Santa Eulália, Amarelo de Fonte Arcada, Vermelho de Barbacena, Preto de Odivelas e Verde Donai	32
Fig. 32	Templo romano de Évora, Portugal, Séc. I d.C. Toda a obra se apresenta em granito, em excepto as bases e capitéis coríntios das colunas, em mármore branco de Estremoz	34
Fig. 33	Capitel do Templo romano de Évora após a intervenção de restauro de 2017. O contraste entre o mármore e o granito foi revigorado.	34
Fig. 34	Sé do Porto. O uso do granito é predominante, especialmente nas intervenções envolventes dos séculos posteriores	34
Fig. 35	Cúpula da Basílica do Convento de Maфра. A policromia pétreia é o instrumento de desenho deste elemento arquitectónico.	36

Fig. 36	Detalhe do portal do Mosteiro da Batalha. As arquivoltas e o tímpano demonstram a trabalhabilidade dos calcários para desenvolver uma rica gama de pormenores na ornamentação	36
Fig. 37	(esq.) Interior do Convento de Jesus, Setúbal. As colunas torcidas em brecha rosa da Arrábida são o elemento caracterizador do espaço desta obra	36
Fig. 38	(dto.) Detalhe do portal do Convento de Jesus, Setúbal. A textura fragmentar da brecha é usada como elemento de destaque	36
Fig. 39	Pedreira de ardósia, Valongo	38
Fig. 40	Empresa das Lousas de Valongo, perto da pedreira de ardósia	38
Fig. 41	Museu da Lousa, Valongo, 2001. Utilização de uma técnica tradicional de construção de pedra xistenta para revestimento contemporâneo	38
Fig. 42	A variedade textural e cromática da pedra é acompanhada por um espectro igualmente complexo e variado de desempenhos e propriedades que a (des)adequam para certos usos, cortes, tratamentos ou ambientes.	40
Fig. 43	Pedreira de Colacara de mármore, Carrara, Itália. Os veios e tonalidades que percorrem a montanhem exemplificam a diversidade mineralógica existente no mesmo jazigo	42
Fig. 44	Pedreira de Colacara de mármore, Carrara, Itália. Os blocos de mármore são extraídos até alcançar as intrusões na rocha. As características estéticas e mecânicas alteram consoante a proximidade à intrusão. A variação de qualidade ocorre dentro da mesma pedreira	42
Fig. 45	Ensaio de resistência à compressão num provete cúbico	44
Fig. 46	Ensaio de resistência à flexão (3 pontos) num provete planar	44
Fig. 47	Medição de dilatação térmica ou higroscópica linear.	44
Fig. 48	Tabela comparativa das características físico-mecânicas de algumas das principais pedras portuguesas	46
Fig. 49	(esq.) Máquina de ensaio de abrasão e desgaste (tipo Böhme).	48
Fig. 50	(dto.) provetes para ensaios de resistência ao desgaste, normalizado por EN 1338, EN 1339, EN 1340 e entre outras	48
Fig. 51	Máquina refrigeradora para ensaio de ciclo de gelo e degelo, normalizado por EN 12326-2, entre outras	48
Fig. 52	Ensaio de resistência às ancoragens, determinação do módulo de rutura na cavilha, regulado pela EN 13664, entre outras	50
Fig. 53	Análise ao microscópio da textura (tamanho, arranjo e proporção) cristalina de uma espécie pétreo, normalizado pela EN 12047, entre outras	50
Fig. 54	(esq.) Cartaz promocional do slogan da Marca da Pedra Portuguesa “We offer the best (from Portugal to the World)”. Versão Guitarra Portuguesa, Pedra Natural: Granito - Amarelo Luzelos.	50
Fig. 55	(dto.) Conjunto de Certificações da marca StonePT	50
Fig. 56	Marmomac 2018 realiza-se em Setembro, na sua 53ª edição, para exposições de materiais, maquinaria, empresas e inovações do sector pétreo.	52
Fig. 57	Marmomac 2017, vista aérea	52
Fig. 58	Exposição The Italian Stone Theatre 2017, Marmomac	52
Fig. 59	Análise e registo das anomalias presentes em coluna do Templo romano de Évora antes de planear procedimento	54
Fig. 60	Teste de limpeza química em fachada pétreo	54
Fig. 61	Limpeza de fachada pétreo e os seus elementos através de jacto de água de alta pressão	54
Fig. 62	Canteiros recriando elementos arquitectónicos para substituição da Catedral de Canterbury	56
Fig. 63	Limpeza de fachada de placagem de pedra. Restauro das propriedades estéticas	56
Fig. 64	Os processos de alteração por exposição aos elementos apagaram os detalhes da estátua funerária, e a colonização biológica descolorou-a.	58
Fig. 65	Grand Canyon, Arizona, EUA. O desfiladeiro com quase 1,8 km de profundidade é um testemunho do poder abrasivo e dissolvente da água, já que o rio Colorado (com parte de erosão eólica) escavou este fenómeno geológico ao longo de cerca de 5 milhões de anos	60
Fig. 66	Alveolização de pedra calcária	62
Fig. 67	Concreções e manchas em placagem de granito no muro de canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)	62
Fig. 68	Eflorescência em placagem de granito	64
Fig. 69	Esfoliações no granito oxidado, Instituto Abel Salazar, rua Prof. Vicente José de Carvalho, Porto (2018)	64
Fig. 70	Fracturação e esfoliação dos silhares, Instituto Abel Salazar, rua Prof. Vicente José de Carvalho, Porto (2018)	64

Fig. 71	Manchas e descoloração das placas de granito devido ao fluxo de água do canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)	66
Fig. 72	Descoloração, crostas, pátinas e colonizações biológicas na placagem de granito de muro virado a norte, rua interior da Faculdade de Letras, Porto (2018)	66
Fig. 73	Esquema do fenómeno da histerese térmica	68
Fig. 74	Amoco Building (centro da fotografia), agora Aon Center, é o quarto mais alto da skyline de Chicago, EUA	70
Fig. 75	Pormenor da fachada do Amoco Building	70
Fig. 76	Investigação dos danos sofridos pela placagem de mármore branco de Carrara por parte do laboratório WJE	70
Fig. 77	Comparação das diferenças no sistema construtivo antes e após substituição do mármore branco de Carrara	72
Fig. 78	Finlandia Hall é caracterizado pelo revestimento de mármore branco venado de Carrara	72
Fig. 79	(esq.) Distorção actual do revestimento do Finlandia Hall. A curvatura pronunciada é lida pelas sombras criadas na fachada	72
Fig. 80	(dto. topo) Histerese térmica encurvou a placa a ponto de ameaçar arrancá-la das cavilhas de fixação	72
Fig. 81	(dto. baixo) Esquema do sistema de fixação indirecta (cavilha lateral) usado no Finlandia Hall	72
Fig. 82	Comparação entre a textura venada do mármore de Finlandia Hall (vista à distância) e o mármore afanítico de grão fino de David (visto de perto)	74
Fig. 83	General Motors Building. Um dos poucos edifícios de Manhattan que ocupa a totalidade do quarteirão	74
Fig. 84	General Motors Building. Vista da praça da fachada em granito	74
Fig. 85	Fractura da placa de travertino do espelho do degrau. O impacto na fina placa amparada pelo varão metálico levou à fractura da peça	76
Fig. 86	Israeli Ministry of Foreign Affairs. Vista noturna, quando a caixa de ónix do átrio de recepção se ilumina.	76
Fig. 87	Vista interior do mezanino de ónix translucido e do seu sistema de suporte amortecedor de impacto de explosões	76
Fig. 88	Placagem fracturada pelo impacto automóvel (revestimento à frente de um local usado como estacionamento), travessa da Pena, Faculdade de Letras, Porto (2018)	78
Fig. 89	Fracturação do revestimento do piso de acesso a uma estação de abastecimento de combustível, incapaz de resistir às cargas de um veículo pesado, rua Júlio Dinis, Porto (2018)	78
Fig. 90	Regenstein Center for African Apes, Lincoln Park Zoo. O ângulo de pedra exposto ao recinto dos gorilas foi devidamente preparado, assim como cortado de blocos sólidos para conferir ao canto mais resistência	78
Fig. 91	Esquema da formação de eflorescências	80
Fig. 92	Eflorescências consequentes da argamassa da alvenaria e da capa do guarda-corpo da escada, assim como manchas nos cobertores próximos.	82
Fig. 93	(esq.) Estado avançado de eflorescências que evoluíram para concreções, sólidos brancos e duros, nas juntas da placagem de granito no muro de canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)	82
Fig. 94	(dto.) Apesar da substituição das placas, o fluxo de água e sais levou à quebra da placa. Muro de canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)	82
Fig. 95	Auditorium Parco della Musica, vista para Sala Santa Cecilia. O auditório exterior assim como os muros, apresentam manchas, eflorescências e colonizações biológicas (coloração verde)	84
Fig. 96	Auditorium Parco della Musica, vista para Sala Petrassi. Todos os muros de alvenaria exteriores apresentam manchas e eflorescências enquanto os muros protegidos pela cobertura dos pavilhão apresentam-se relativamente inalterados	84
Fig. 97	Pormenor do auditório exterior, tijolo capeado por travertino, onde as manchas brancas, eflorescências, são predominantes	84
Fig. 98	Canal de Veneza. As marcas de eflorescências e cristalização do sal são evidentes nas paredes de tijolo (descoloração branca) tal como a marca da água acima da pedra (humidade acima da descoloração verde da pedra)	86
Fig. 99	Pormenor da coluna fissurada no nártex da Basílica de São Marcos, Veneza, Itália	86
Fig. 100	Pormenor da textura da base de mármore rosa da coluna, dissolvido pelos ciclos de cristalização do sal e da acqua alta, nártex da Basílica de São Marcos, Veneza, Itália	86
Fig. 101	Conjunto de pedras que apresentam, dentro da mesma tonalidade, diferentes texturas, com cuidados específicos e próprios para criar padrões harmoniosos. De esquerda para a direita, calcário Vidraço de Pedra Furada (Encarnadão), granito Rosa Monforte, ónix arco-íris e travertino moca creme	88
Fig. 102	Casa na Maia 2, Eduardo Souto de Moura, entrada. Exemplo de um cuidadoso casamento do mármore que criou um padrão harmonioso contínuo, apesar de composto por elementos discretos	88

Fig. 103	Seleção inadequada de placagem (placa inferior apresenta uma tonalidade distinta das restantes, Praça D. João I, Porto (2018) . . .	88
Fig. 104	Pavilhão de Barcelona, Mies van der Rohe, parede de ónix. A obra constitui um dos exemplos inconfundíveis da mestria de manipulação textural, cromática e material das espécies pétreas.	90
Fig. 105	Pavilhão de Barcelona, Mies van der Rohe, parede de travertino	90
Fig. 106	Instalação Mies Missing Materiality demonstra o quanto esta obra de arquitectura vive da materialidade pétreas e da sua influência no espaço	90
Fig. 107	Descoloração provocada por manchas de ferrugem, provenientes das ferragens no canteiro, rua Dom Manuel II, Porto (2018) . . .	92
Fig. 108	Manchas de ferrugem pela corrosão dos parafusos metálicas do guarda-corpos, travessa da Pena, Faculdade de Letras, Porto (2018)	92
Fig. 109	Dissolução da estátua de George Washington devido à acção de chuvas ácidas. A calcite presente nos calcários e mármore reage com o ácido sulfúrico das chuvas ácidas para produzir sulfato de cálcio, solúvel em água, e assim deteriorando os elementos pétreos	92
Fig. 110	Descoloração de efeito moldura nas placas de granito (limite superior e inferior), assim como descoloração de ferrugem (zona inferior esquerda), Torre H, Faculdade de Arquitectura, Porto (2018)	94
Fig. 111	Obelisco do Washington Monument. A diferença em coloração é subtil mas inegável (linha superior da nuvem marca as fases de construção e a diferença de coloração)	94
Fig. 112	Descoloração por <i>graffiti</i> , vandalismo, Faculdade de Arquitectura, Porto (2018)	96
Fig. 113	Bregenz Museum	96
Fig. 114	Bregenz Museum. O revestimento vítreo, para além de ser uma estratégia de defesa contra o <i>graffiti</i> , possui valências estéticas, como tornar o edifício numa caixa de luz.	96
Fig. 115	Citânia de Briteiros. A cultura castreja do noroeste da península ibérica, pré-romana, é testemunho da utilização da pedra numa das formas mais simples, amontoada em formas circulares, já que as técnicas de travamento de muros em ângulos rectos eram-lhes desconhecidas	100
Fig. 116	Pedra formosa do balneário da Citânia de Briteiros. A minúcia de talhe da pedra evidencia a importância cultural do objecto e da obra, a perícia da cultura castreja e os valores estéticos e simbólicos culturais	100
Fig. 117	Stonehenge, vista para o altar cuja incidência de luz funcionaria como um calendário solar	102
Fig. 118	Menir de Champ Dolent, França	104
Fig. 119	Pedra sagrada BenBen representativa do deus Atum para capear a Pirâmide de Amenemhet III, Dahshur. Atum, segundo o mito, terá escolhido assumir forma piramidal para residir dentro de tal estrutura de pedra	104
Fig. 120	(esq.) Onfalo de Delfos. Considerado o centro do universo, o “umbigo do universo” por ser o interface entre o mundo dos humanos e o mundo dos deuses.	104
Fig. 121	(dto.) Ka’aba de Mecca. É possível ver a alvenaria de granito por baixo do manto que cobre um dos lugares mais sagrados pelos islâmicos pois nela está incrustada a Hajar el Aswad, Pedra Negra, uma relíquia sagrada do Islão	104
Fig. 122	Muralha ciclópica, Micenas, Grécia	106
Fig. 123	Porta do Leão, Micena, Grécia	106
Fig. 124	Modelo em barro de uma típica habitação em adobe do povo egípcio, 2100 a.C.	106
Fig. 125	(esq.) Complexo de Djoser, Saqqara. Petrificação das formas da arquitectura vernácula de adobe e elementos vegetais. Ao fundo é possível ver a primeira pirâmide do Egípto, em mastabas	108
Fig. 126	(dto.) Templo do Vale de Quefren. Na sala simétrica, os pilares monolíticos, excepcionais à arquitectura egípcia, guardavam um conjunto de estátuas conferindo ao espaço baixo e tectónico um carácter de gruta, como um conjunto de nichos	108
Fig. 127	Esfinge sobre a Pirâmide de Quefren, cujo revestimento a calcário polido no topo ainda é visível	108
Fig. 128	Grande Templo de Abu Simel, escavado na encosta de uma escarpa do Nilo	108
Fig. 129	(esq.) Sala Hipostilo, Templo de Karnak	110
Fig. 130	(dto.) Pormenor dos capitéis lotiformes, que caracterizam a arquitectura egípcia, e dos linteis monolíticos, que caracterizam o sistema trilítico	110
Fig. 131	Pártenon, pórtico nascente, Acrópole de Atenas, Grécia. É possível ler a entasis na mudança de espessura da coluna consoante a altura. A base é relativamente mais grossa que o topo	110
Fig. 132	Zigurate de Ur, Irão	110
Fig. 133	Aqueduto Pont du Gard, França	112

Fig. 134	(esq.) Túnel de sistema de esgotos romano, Cologne, Alemanha, séc. I. Abóbada (em alvenaria de pedra) constitui um dos elementos principais da revolução construtiva romana, tal como as suas infraestruturas	112
Fig. 135	(dto.) Complexo de túneis subterrâneos das Termas de Caracalla, séc. II. A abóbada será imperativa para o desenvolvimento de sistemas subterrâneos como das termas, para fluxo de água, aquecimento e armazenamento	112
Fig. 136	Construção de parede por <i>opus caementicium</i> : núcleo de cimento romano, cujo agregado é de tijolo, revestimento por tijolo em <i>opus testaceum</i>	112
Fig. 137	Arco maia. O arco ganha um recorte em forma de escadaria invertida pelos silhares colocados em consola consecutivamente	114
Fig. 138	Esquema de comparação entre sistema trilitico e o sistema romano, com condução das cargas	114
Fig. 139	Coliseu, Anfiteatro Flaviano. Um sistema de arcos estrutura a fachada circundante, reflexo do sistema de abóbadas internas que erguem as bancadas	116
Fig. 140	Corte esquemático do Coliseu. Um complexo sistema de arcos, abóbadas e paredes erguem uma encosta artificial para elevar as bancadas enquanto criam sistemas de túneis para circulação de pessoas e bens	116
Fig. 141	(esq.) Panteão, Roma. Perspectiva interior para a entrada. O revestimento pétreo oculta a técnica construtiva complexa de <i>opus caementicium</i> utilizada	116
Fig. 142	(dto.) Corte do Panteão. O perfil da cúpula diminui com a altura a fim de conquistar estabilidade enquanto ascende e corta o ar para fechar o vão	116
Fig. 143	Arco de Galério, Tessalónica, Grécia, séc. IV. A estrutura evidencia o sistema construtivo romano da época: um núcleo de <i>opus caementicium</i> forrado a tijolo, <i>opus testaceum</i> , que é posteriormente revestido com placagem de pedra, mármore ou calcário, repleta de detalhes e narrativas, característico dos arcos triunfais	118
Fig. 144	Dharmaraja Ratha, parte do conjunto das Pancha Rathas (Cinco Pagodes), séc. VII, representa uma das tipologias da arquitectura hindu: construção pelo talhe de um monolítico desprovido de espaço interior ou apenas um tabernáculo.	120
Fig. 145	Cavernas de Elefanta, entrada lateral, séc. VI, representa um das tipologias da arquitectura hindu: salas hipostilo escavadas na rocha de montanhas e escarpas	120
Fig. 146	Templo de Kailasa, parte do complexo das Cavernas de Ellora, séc. VIII, representa uma mistura das duas tipologias da arquitectura hindu: salas hipostilos e templos esculpidos da rocha de montanhas e escarpas. Cerca de 2,4 milhões de toneladas cúbicas de pedra foram removidas para criar o complexo	120
Fig. 147	Abadia de Sainte-Trinité de Lessay, Normandia, França. Abadia beneditina do séc. XI cujo carácter militar vive na sua aparência robusta e pesada com ligeiros apontamentos de contrafortes e reforço dos cantos, similar aos castelos da época.	122
Fig. 148	(esq.) Batistério de S. João, Florença, Itália. O jogo cromático pétreo do séc V tornar-se-á referência à arquitectura românica toscana e a algumas obras renascentistas	122
Fig. 149	(dto.) Capitel do Místico Moinho, Basílica St. M. Madeleine. A cena representa a transformação das profecias (grão) carregadas por Moisés (Antigo Testamento), em ensinamentos (farinha) carregadas por Paulo de Tarso (Novo Testamento) através de Jesus (moinho)	122
Fig. 150	Sé Velha de Coimbra, séc. XII. O espectro da arquitectura românica apresenta muitas variações locais e nacionais, todavia a portuguesa é particularmente marcada pelo forte carácter militar, onde a linha entre fortaleza e igreja se esbate.	122
Fig. 151	Hagia Sophia, Istambul. Pormenor dos arcos travados com ferro forjado	124
Fig. 152	Catedral de Iorque, Inglaterra. Pormenor dos arcobotantes e contrafortes que exteriorizam a condução das cargas e permitem a abertura de grandes vão. Os contrafortes são travados com pináculos. A cobertura é revestida a folha de chumbo	124
Fig. 153	(esq.) Basílica de Saint-Denis, Paris. Note-se a exaltação da luz e do desenho de abóbada ogival derivada do arco quebrado, características da arquitectura gótica	124
Fig. 154	(dto.) Catedral Notre Dame, Paris. Vista da nave principal e do seu abobadamento de desenho mais simples com leitura do arco quebrado mais proeminente. Note-se a verticalidade da arquitectura gótica	124
Fig. 155	Castelo de Harlech, séc. XII. Apesar de em ruínas, a sua lógica de construção e desenho é legível: muralha espessa, implantação em ponto alto, reforço dos cantos.	126
Fig. 156	Castelo de Ussé, ou Château de Ussé, séc. XIV. Produto de um processo de petrificação de uma estrutura defensiva anterior, apesar de apresentar elementos da arquitectura militar, não possui capacidades defensivas	126
Fig. 157	Cúpula da capela do Château d'Anet, Philibert de l'Orme, séc. XVI. Um trabalho estereotómico perspético pois as nervuras diminuem o espaçamento entre elas enquanto ascendem na cúpula, iludindo uma estrutura mais alta do que realmente é.	128
Fig. 158	Ilustrações de determinações geométricas de <i>Premier tome de l'Architecture</i> , Philibert De l'Orme, 1576.	128
Fig. 159	Complexo de El Escorial, fachada sul	130

Fig. 160	Abóbada plana da entrada a Basília, piso inferior ao coro alto da Basílica, desenhada por Juan de Herrera	130
Fig. 161	Abóbada da Câmara Municipal de Arles, desenhada por Jules Hardouin-Mansart	130
Fig. 162	Ilustração de <i>Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali</i> , Galileo Galilei, 1638	132
Fig. 163	Ilustração de <i>Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali</i> , Galileo Galilei, 1638	132
Fig. 164	Ilustrações de <i>La Théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils et militaires</i> , Amédée Frézier, 1737-1739	134
Fig. 165	Representação em método de Monge de uma abóbada elipsoidal estereotómica (sem argamassa), por Gaspard Monge	136
Fig. 166	Operário a verter ferro fundido em moldes de areia	136
Fig. 167	Cozinha do Mosteiro de Alcobaça com uma colunata de ferro fundido	138
Fig. 168	Estrutura de ferro fundido, 1850, a suportar a cobertura da sala de leitura da Bibliothèque Sainte-Geneviève, Paris	138
Fig. 169	Le Carreau du Temple, Paris. Uma construção em ferro e vidro de 1863 que substituiu uma anterior em madeira, ilustrando a arquitectura da época da Revolução Industrial	138
Fig. 170	Corte construtivo de uma casa de criados com dois andares. Utilização de lajes de cimento reforçado com barras de ferro e malha-sol resultando num dos primeiro edifício de betão armado. Projectado por W. Wilkinson of Newcastle, 1854. Wilkinson patenteou o cimento reforçado como técnica de protecção dos edifícios contra incêndios	140
Fig. 171	CIAM VI, 1947, Bridgwater, Somerset. Fotografia de grupo dos participantes, incluindo Le Corbusier, Walter Gropius, Erno Goldfinger, Maxwell Fry, Jane Drew, e Wells Coates	140
Fig. 172	Villa Müller, Adolf Loos, Praga, 1930. Considerado um marco do início do Movimento Moderno pela sua simplicidade e abordagem projectual	142
Fig. 173	Bauhaus, Walter Gropius, Alemanha, 1925. O edifício não só representa uma afirmação arquitectónica como também uma mudança intelectual e paradigmática do ensino e produção de arquitectura devido ao programa escolar desenvolvido por Gropius que terá enorme impacto na utilização dos materiais modernos, na estética funcionalista e na procura da inovação gerada pela industrialização.	142
Fig. 174	Contribuição de Le Corbusier e Pierre Jeanneret para a exposição de arquitectura moderna coordenada por Ludwig Mies van der Rohe em Weissenhofsiedlung de Stuttgart, 1927. As obras desenvolvidas por todos os participantes tornar-se-iam referência para o Movimento Moderno	142
Fig. 175	(esq.) Igreja de Nossa Senhora do Rosário de Fátima, Pardal Monteiro, fachada após conclusão da obra em 1938 . Exemplo incontornável do modernismo nacional.	144
Fig. 176	(dto.) Igreja de Nossa Senhora do Rosário de Fátima (2016), Pardal Monteiro, 1938	144
Fig. 177	Pormenor da abside da Igreja de Nossa Senhora do Rosário de Fátima, Pardal Monteiro, 1938	144
Fig. 178	Liceu de Beja, actualmente Escola Secundária Diogo de Gouveia, Cristino Silva, 1931, é caracterizado por uma grande simplicidade cuja expressividade vive da articulação de volumes e desenho de linhas numa composição assimétrica	146
Fig. 179	Villa Le Sextant (Casa de Les-Mathes), Le Corbusier, 1935. Constitui um exemplo da pedra autóctone estrutural num projecto moderno.	146
Fig. 180	Pavilhão de Honra e da Cidade de Lisboa, Luís Cristino da Silva, Exposição do Mundo Português (lado oriental), 1940	146
Fig. 181	Imagem do catálogo da Exposição “Moderna Arquitectura Alemã” promovida pelo arquitecto Albert Speer	148
Fig. 182	Portugal dos Pequenitos, Cassiano Branco	148
Fig. 183	Portugal Monumental, Museu do Traje, Portugal dos Pequenitos. É possível ler uma colagem de simbolos e elementos arquitectónicos de diversos monumentos nacionais, tais como a Torre dos Clérigos e a arquitectura românica.	148
Fig. 184	Unité d’Habitation de Marseille, Le Corbusier, 1952, é caracterizado pela utilização de duplex cruzados, pela conjugação de 23 tipologias de fogos e um conjunto de serviços. Constitui um marco da arquitectura e urbanismo moderno como forma de construir dinâmicas da vida social	150
Fig. 185	Escola de Hunstanton, Smithsons, 1949. A estrutura metálica negra e o tijolo creme não constituem apenas estrutura, mas também expressão plástica directa	150
Fig. 186	Notre Dame du Hatre, Ronchamp, Le Corbusier, 1950, interior. O jogo de luz e cor confere à obra uma poética única de um espaço religioso	150
Fig. 187	Câmara de Säynätsalo, Alvar Aalto, 1951. Utiliza técnicas construtivas locais para materializar volumetrias de expressão moderna, contudo, dentro de escalas e organização de espaços fundamentados na lógica finlandesa	152

Fig. 188	Igreja Paroquial de Águas, Nuno Teotónio Pereira, 1953. Fachada principal e torre sineira. Toda a obra se materializa com uma alvenaria de granito, mesmo quando se apropria de formas de expressão moderna, coerente com a técnica construtiva local	152
Fig. 189	Igreja Paroquial de Águas, Nuno Teotónio Pereira, 1953, interior e altar. A materialidade pétreo com cantos de grandes silhares domina o espaço interior	152
Fig. 190	Pavilhão de Ténis, Fernando Távora, 1958. O muro e pilares de granitos, a guarda e a viga em betão, as asnas em madeira e as paredes rebocadas formam um simples volume rico de detalhe e identidade	154
Fig. 191	Neue Staatsgalerie, Stuttgart, Alemanha, James Stirling e Michael Wilford, 1984. O travertino e arenito que materializam o museu ganham grande ênfase na rotunda. A obra conjuga uma cuidadosa estética pétreo tradicional das tipologias de museu com o aço industrial colorido para gerar um manifesto do compromisso evolutivo da arquitectura e construção	154
Fig. 192	Casa del Fascio, Como, Itália, Giuseppe Terragni, 1936. A organização geométrica pura da fachada racionalista não é dissonante do centro histórico onde se insere devido à materialidade pétreo, mármore bolticino, que lhe conferem uma monumentalidade e nobreza própria, mesmo que austera	154
Fig. 193	Casa no Bom Jesus, Braga, Eduardo Souto de Moura, 1994. A obra representa uma primeira fase do arquitecto, cujas casas adoptam muros de pedra como elementos de composição	156
Fig. 194	Museu de Arte Contemporânea da Galiza. Santiago de Compostela, Álvaro Siza Vieira, 1994. Diálogo entre duas peças arquitectónicas de séculos distintos: o museu e o convento de São Domingos de Bonaval	156
Fig. 195	Avenida dos Aliados, intervenção urbanística consequente do projecto do Metro do Porto, 2006, Álvaro Siza Vieira e Eduardo Souto de Moura. Apesar de ser uma intervenção contemporânea num centro histórico, foi assegurada a linha de continuidade entre a envolvente e o espaço público. A atenção à materialidade e às técnicas, sem cair em anacronismo e pastiche, possibilitaram uma continuidade do tecido urbano.	158
Fig. 196	Esquema do ciclo de vida da pedra como material de construção	160
Fig. 197	Escombreira junto à pedreira de Anticlinal de Estremoz. É necessário repensar as dinâmicas de ordenamento do território para o sector extractivo pétreo	160
Fig. 198	Estação de Metro Lapa, Porto. A mesma espécie pode apresentar um multitude de formatos e funções: silhares, cascalho, muros, cubo, balastro, lancis e lajetas.	162
Fig. 199	Pedreira de Querciola de mármore, Carrara	162
Fig. 200	Máquina de forte de fio diamantado. Conjugada com múltiplas roldanas e extensões, o fio pode ser usado para cortar qualquer plano de rocha em qualquer sentido	164
Fig. 201	Pedreira de Levantina, Espanha. A máquina de perfuração vertical (veículo azul) prepara a próxima linha de corte (outras duas linhas de corte podem ser vista à esquerda, linhas de fractura a castanho).	164
Fig. 202	Técnica de pré-corte com recurso a uma substância não explosiva, mas expansiva que evita ondas de choque e mitiga a formação de detritos e escombros.	164
Fig. 203	Bancada de granito extraída antes da divisão em blocos. Destaque por fio diamantado devido à superfície lisa e os padrões que apresenta	166
Fig. 204	Terreiro de armazenamento dos blocos de granito. Os vincos indicam a utilização da técnica de pré-corte.	166
Fig. 205	(esq.) Corte de bloco de granito por serra circular diamantada.	166
Fig. 206	(dto.) Corte CNC (fresa) a esculpir detalhe numa placa de granito.	166
Fig. 207	Corte CNC de fio diamantado. Possibilidade de cortar superfícies curvas para alto rendimento da placa.	168
Fig. 208	Flamejadora a tratar a superfície de uma placa de granito (mudança cromática)	168
Fig. 209	Acabamento serrado	170
Fig. 210	Acabamento escacilhado	170
Fig. 211	Acabamento bujardado médio	170
Fig. 212	Acabamento flamejado	172
Fig. 213	Acabamento polido	172
Fig. 214	Acabamento riscado fino	172
Fig. 215	Fixação indirecta por ancoragem de perfil dentado.	174
Fig. 216	Fixação directa por colagem por argamassa	174
Fig. 217	Eflorescência com efeito de moldura em placas coladas, no cruzamento entre rua da Piedade e rua do Vilar, Porto (2018)	176
Fig. 218	Descolagem de placa de pedra indevidamente colada (argamassa não apresenta estrias), rua da Piedade, Porto (2018)	176

Fig. 219	Esquema de fixação directa (com e sem reforço)	178
Fig. 220	Sistema de fixação indirecta para pavimento por recurso a apoio ajustável para pavimento flutuante.	180
Fig. 221	Sistema de fixação indirecta para fachada por recurso a ancoragens laterais e um apoio secundário inferior. Cada cavilha estará associada a duas placas, lateralmente.	180
Fig. 222	Esquema da solução de fachada ventilada	182
Fig. 223	Esquema dos sistemas de perfuração e ancoragem mais comuns na fixação indirecta	184
Fig. 224	Esquema de fixação indirecta do sistema <i>undercut</i>	186
Fig. 225	Zona da placagem de granito próxima ao tubo de queda apresenta inúmeras alterações, desde manchas, corrosão biológica e descoloração, rua interior da Faculdade de Letras, Porto (2018). A má execução do encontro entre o sistema de fixação e o sistema de drenagem de águas pluviais, a caixa do tubo de queda que marca o início das alterações, promove o desenvolvimento de anomalias. A gestão das águas é da mais alta importância para a conservação da construção	188
Fig. 226	Marmorite. O regresso da tendência está conectado ao desenvolvimento das argamassas e compósitos pétreos que possibilitam um material com mais plasticidade e possibilidades de criação, enquanto promove a reciclagem ou a utilização de estêreis.	190
Fig. 227	Compósito pétreo de estrutura favo em alumínio com exemplares em calcário, travertino e mármore	192
Fig. 228	Compósito pétreo bi-composto de porcelana com exemplar em coralito.	192
Fig. 229	Compósito pétreo de reforço com vidro, com exemplar em ónix calcário verde.	192
Fig. 230	Silestone Charcoal Soapstone, grande formato, textura suede, acabamento polido	194
Fig. 231	Silestone Eternal Marquina, grande formato, textura suede, acabamento polido	194
Fig. 232	<i>Opus sectile</i> , tigre a atacar cabra, Basílica de Junius Bassus, Roma, 325-350 d.C.	196
Fig. 233	Corte CNC por jacto de água. A evolução da tecnologia permite cortar elementos complexos com grande eficiência	196
Fig. 234	Mosaico pétreo em <i>opus sectile</i>	196
Fig. 235	Vista interior de St. Pius Church, Meggen, Suíça, Franz Füg, 1966	198
Fig. 236	(esq.) Vista exterior de St. Pius Church, Meggen, Suíça, Franz Füg, 1966	198
Fig. 237	(dto.) Vista exterior de Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University, EUA, Gordon Bunshaft, 1963	198
Fig. 238	Pormenor interior da fachada translúcida da Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University, EUA, Gordon Bunshaft, 1963	198
Fig. 239	(esq.) Passerelle de mármore reforçado, 1965. É possível ver os duplos T's no espelho entre a escada e a passerelle, cujo pormenor indica que utiliza encaixe macho-fêmea entre os elementos pétreos	200
Fig. 240	(dto.) Módulo do pórtico que constitui o Pavilhão do Futuro, Peter Rice, 1992	200
Fig. 241	Vista interior do leque de arcos que compõe Chiesa di Padre Pio, San Giovanni Rotondo, Puglia, Renzo Piano, 2004	200
Fig. 242	Pormenor do arranque dos arcos do altar, Chiesa di Padre Pio, San Giovanni Rotondo, Puglia, Renzo Piano, 2004	200
Fig. 243	Pormenor da abóbada triarticulada, Centro Direzionale della Internazionale Marmi e Macchine, Carrara, Angelo Mangiarotti, 1993.	202
Fig. 244	Desenvolvimento do projecto da Sagrada Família. A modulação 3D e a impressão 3D são as principais ferramentas de trabalho	202
Fig. 245	Módulo do compósito pétreo (pedra reforçada por cabos de aço horizontal e verticalmente) que constituem as torres centrais	202
Fig. 246	Montagem da Torre de S. Marcos com os painéis do compósito estrutural pétreo	204
Fig. 247	Pormenor do cruzeiro e das colunas de pórfiro vermelho na Sagrada Família	204
Fig. 248	Sagrada Família, vista aérea (2018).	204
Fig. 249	(esq.) Exposição da Marmi Pietre e Design, Marmomac 2015. Mesa de pedra translúcida	206
Fig. 250	(dto.) Exposição do gruppo Toscomarmi, Marmomac 2015. Gama de revestimentos	206
Fig. 251	Miradouro da Acrópole de Atenas	210
Fig. 252	Detalhe da alvenaria de elementos reciclados da Igreja de St. Dimitris Loumbardiaris	210
Fig. 253	Pavimento dos percursos pedonais	210
Fig. 254	Figura do sol, detalhe da pavimentação que utiliza tijolo e diferentes tipos de pedra	212
Fig. 255	(esq.) Pavimento e banco em miradouro para a Acrópole na abertura da vegetação	212
Fig. 256	(dto.) Percurso de acesso à Acrópole, sem eixos ou exaltação de monumentalidade	212
Fig. 257	Detalhes dos múltiplos arranjos de mármore e calcários que compõem a pavimentação	212

Fig. 258	Estação de Metro da Trindade, Porto. O granito materializa pavimento e lambril tal como mobiliário (2018)	214
Fig. 259	Estação de Metro da Lapa, Porto. O granito materializa plataformas, via e estações (2018)	214
Fig. 260	Pormenor da Estação de Metro da Lapa, Porto (2018)	214
Fig. 261	Muro pétreo que separa o jardim do espaço interior do centro cultural. A integração ao local é total	216
Fig. 262	Vista interior onde, tal como a luz penetra, também a textura pétreo a faz.	216
Fig. 263	Remate do edificado através de um simples jogo de muros, característico desta arquitetura silenciosa que complementa o jardim	216
Fig. 264	Esquissos de implantação e volumetria, por Eduardo Souto de Moura	217
Fig. 265	Zona verde da explanada envolvida pelos muros de xisto, a materialidade que caracteriza a obra exteriormente.	218
Fig. 266	Detalhe construtivo da fixação dos esteios de xisto.	218
Fig. 267	Perfil construtivo do muro perimental que marca a entrada. Betão revestido por esteios de xisto.	218
Fig. 268	Esquisso de implantação, por Eduardo Souto de Moura	219
Fig. 269	Armadillo Vault	220
Fig. 270	Armadillo Vault, vista aérea	220
Fig. 271	Processo produtivo dos elementos discretos onde após serragem automatizada, as lâminas geradas são partidas manualmente para obter a textura lascada final	220
Fig. 272	Möbius Sofa, peça da coleção Möbius Seats que incluem Chair e Lounge	222
Fig. 273	(esq.) Escalier Ridolfi, escada autoportante de compósito estrutural de pedra (reforçada por 3 cabos de aço internos) desenvolvida por Giuseppe Fallacara, 2005	222
Fig. 274	(dto.) Escada autoportante em compósito estrutural de pedra executada pela The Stonemasonry Company, numa residência privada, 2016	222
Fig. 275	Detalhe do encaixe dos degraus de calcário	222
Fig. 276	Sede da SNBR, cuja entrada é marcada pelo HyperGate	224
Fig. 277	(esq.) Montagem dos elementos discretos do HyperGate, para serem tensionados no final	224
Fig. 278	(dto.) Vista interior do mezanino dos arcos de pedra que suportam a cobertura e definem o espaço interior	224
Fig. 279	Vista exterior das bases de betão, contrafortes, dos arcos de pedra.	224
Fig. 280	Entrada da Stone House com forte presença dos muros de alvenaria tradicional local	226
Fig. 281	Pátio da Stone House, onde a grelha estrutural se projecta para formar uma pérgula	226
Fig. 282	(esq.) Fachada sul. O vão horizontal moderno é enfatizado pela alvenaria horizontal de pedra xistenta e a pala de betão da cobertura	226
Fig. 283	(dto.) Detalhe de porta	226
Fig. 284	Esquisso de detalhe construtivo. A pedra ocupa a maioria da espessura da parede, 25 cm. A pedra protege uma 5 cm de caixa-de-ar, 10 cm de isolamento e 12 cm de parede de tijolo rebocado pelo interior	227
Fig. 285	Dominus Winery, atravessada pelo percuso que corta o correr das vinhas	228
Fig. 286	Principal vão de acesso ao átrio de distribuição ou atravessamento entre zonas da vinha	228
Fig. 287	(esq.) Jogos de luz e sombra interiores gerados pelo revestimento de gabião	228
Fig. 288	(dto.) Detalhe do revestimento da fachada de estrutura metálica e gabião de basalto	228
Fig. 289	Centro de Estudos Avanzados (à esquerda) e Escola de Altos Estudos Musicais (à direita), evidenciando a paleta textural do mesmo material	230
Fig. 290	Fachada Nascente. A volumetria cúbica da obra está incrustada no terreno reforçando a sua tectónica já comunicada pela textura bruta	230
Fig. 291	(esq.) Detalhe da textura	230
Fig. 292	(dto.) Vista interior onde ocorre a mudança de textura (acabamento polido).	230

Pedra: Matéria, Método e Materialização



Introdução



Fig. 3_Cuevas de Panoría, Darro, apresentam vestígios de arte rupestre do Neolítico



Fig. 4_Pontas de flecha em sílex

1. Para esclarecimento, em diante, o termo 'rocha' será aplicado como o material constituinte da crosta terrestre, geralmente formado por uma associação de minerais com uma certa homogeneidade estatística de onde se extrai a matéria e material de construção, com qualquer nível de transformação e tratamento, a 'pedra'.

2. AIRAPETOV, D. *Architectural materials science*, Tradução de Alexander B. Kuznetsov. Moscow: MIR Publishers, 1986, p. 106

3. BRANCO, José da Paz. *Manual do Pedreiro*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981, p. 1

4. "Natural stone is the most abundant of all material things; it is the Earth itself" In AIRAPETOV, D. *Architectural materials science*, Tradução de Alexander B. Kuznetsov. Moscow: MIR Publishers, 1986, p. 106

5. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 3

6. BRANCO, José da Paz. *Manual do Pedreiro*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981, p. 9

7. Pedras inadequadas para a construção mas que possuíam grande valor estético foram capazes de seduzir os artesãos e materilizarem peças de adorno que retinham todos os poderes míticos que posteriormente lhes eram atribuídos.

8. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 5

9. CAVALLARI, Luigi. *Pietra*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 7

Entre as substâncias naturais que o ser humano teve disponível para construir abrigos e proteger-se dos inimigos, a pedra estabeleceu uma das relações mais notáveis e duradouras. Tal como a madeira, a pedra¹ é um dos mais antigos materiais de construção².

Devido à natureza provisória dos primeiros abrigos, não sabemos exactamente com que técnicas foram construídos. Se com materiais perecíveis, como madeiras ou folhagens, se com materiais mais perenes como pedra empilhada a seco ou barro seco ao sol³, permanecerá um mistério, contudo é incontestável que estas técnicas se desenvolveram consoante os recursos e imposições climáticas, geológicas e biológicas da envolvente. Por essa premissa, a inclusão da matéria pétreo na lista dos materiais de construção do ser humano não é de todo uma surpresa. A pedra natural, produto da rocha quer por erosão ou extracção artificial, surge-nos em todo o lado. "A pedra natural é a mais abundante de todos as substâncias materiais, é a Terra em si mesma"⁴, e como constituinte básico de um território torna-se um recurso ímpar à disposição de cada nação, de cada cultura⁵. Não só a abundância vincou a sua presença na evolução e tradição construtiva colectiva, mas também as suas qualidades e características intrínsecas ímpares fundamentaram a sua continuada utilização. São as suas características físicas, químicas e mecânicas que possibilitam a utilização desta matéria como um material de construção⁶. Estes atributos serão analisadas ao longo desta dissertação com o detalhe necessário a uma compreensão sólida do assunto em estudo.

As pedras formaram os primeiros instrumentos de caça, trabalho, guerra, adorno, efígie e até joalheria^{7 8}. Já na sua forma mais bruta, as rochas ofereciam abrigo aos primeiros humanos primitivos, acolhendoo nas cavernas e grutas. A relação entre o ser humano e a pedra é ancestral. Simbolicamente, este material está ligado à ideia de abrigo, à solidez protectora, à vontade de durar⁹, que ficaram incorporadas na materialização da sedentarização dos povos. As povoações vincularam-se ao local através da construção de abrigos e estruturas sociais, através de elementos como muros, habitações, pontes, pavimentos e engenhos de manipulação e marcação da paisagem e do território, todos eles carregando a solidez e perenidade do material pétreo que os constituía. Corporalizou todos os aspectos da vida humana incluindo as suas idiossincrasias em objectos artísticos como monumentos fúnebres



Fig. 5_Dolmén Poul nabrone, Irlanda, 3600 a.C.



Fig. 6_Castro de Baroña, Galiza, séc. I a.C. a I d.C.

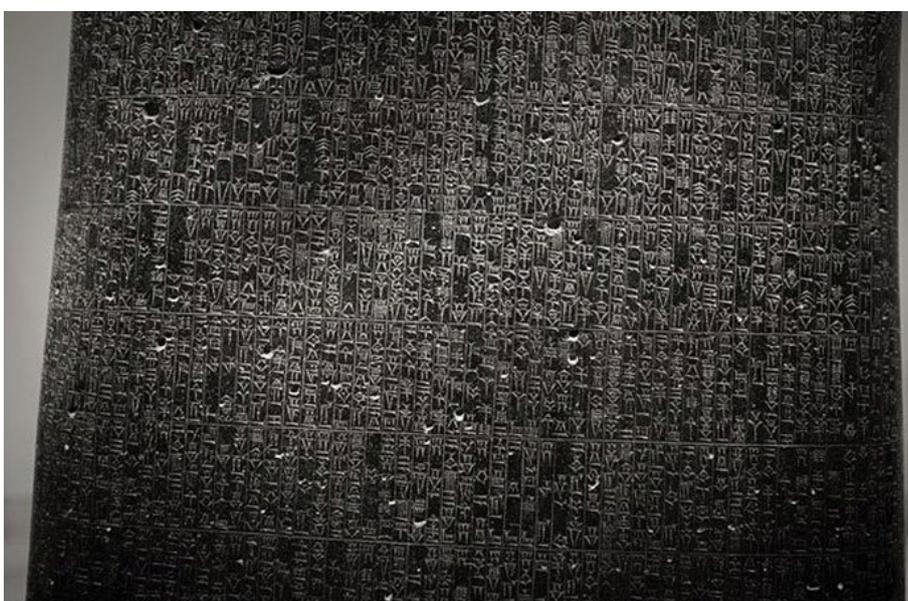


Fig. 7_Excerto do pilar de diorito preto (rocha ígnea intrusiva extremamente dura, usada pelos egípcios para quebrar granito) do Código de Hammurabi, um conjunto de leis da Mesopotâmia

ou cosmogónicos, estatuária, igrejas, templos, catedrais, palácios, etc.¹⁰ Todo um espectro de construções materializadas devido ao engenho humano e à capacidade de resposta do material aos problemas levantados.

A pedra, veículo de civilização, é uma cápsula do tempo em si mesma. A sua dureza e longevidade, tão antitético do mundo natural e orgânico de onde é extraída, encerrava em si uma resistência à morte e decomposição com a qual o ser humano pode perpetuar-se¹¹. A pedra foi um instrumento com a qual a tecnologia da arquitectura, e consequentemente o próprio ser humano, cresceu e progrediu, até ao advento do betão armado (substituto que nos primeiros tempos chamavam de pedra líquida) e do ferro com níveis de desenvolvimento cada vez mais impressionantes¹². Não é de todo difícil pensar que nunca abandonámos realmente este material, apenas nos deixámos seduzir por outros. “Sem a pedra (ou tijolo, outro dos seus substitutos) não teríamos o arco, nem o gótico ou o barroco”¹³. Ela construiu arquitectura, celebrou o ser humano e a sua cultura, iludiu vencer o próprio tempo, cronológico e biológico. “Ter filhos, para o homem comum, e fazer arquitectura, para os que podiam, foram na história o instrumento para perpetuar, no primeiro caso, a linhagem, e no segundo, a própria fama, mas sobretudo para dar o impulso fundamental às civilizações humanas. Trabalhar a pedra, como sabemos, coincidiu com a descoberta do homo sapiens da sua capacidade de inventar e usar ferramentas; e depois fazer, construir, antropomorfizar e subjugar a natureza”¹⁴. Foi ferramenta de culto, de crença, de quotidiano, de fundação, de edificação, de comércio, de engenho, de escrita, de cultura, de arquitectura. A arquitectura ocidental, desde a sua génese à sua história, foi fundada na pedra e pela pedra.¹⁵ É este motivo que justifica a relevância e a atenção dada a este material de construção na presente dissertação. A sua relevância histórica, social, económica, cultural, construtiva, arquitectónica é incontornável.

Actualmente as limitações técnicas e económicas da pedra na arquitectura são sucessivamente ultrapassadas. Tais barreiras que condicionavam o seu uso foram abatidas com a pedra a ser usada em toda a parte quer como material estrutural, como pavimentos, como revestimentos, como mobiliário, como invólucro das construções e como símbolo de força expressiva que só este material consegue dar.¹⁶

Antes de analisarmos como a pedra materializa as intenções dos arquitectos, é necessário compreender os apanágios desta matéria.

10. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1.ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 12

11. *Ibidem*

12. CAVALLARI, Luigi. *Pietra*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 7

13. “Senza la pietra (o il mattone, altro suo surrogato) non avremmo avuto l'arco, né il gotico o il barocco”. *Ibidem*

14. (...) fare figli, per l'uomo comune, e fare architettura, per chi poteva, sono stati nella storia lo strumento per perpetuare nel primo caso la propria stirpe e nel secondo la propria fama, ma soprattutto per dare l'impulso fondamentale alle civiltà umane. Lavorare la pietra, come si sa, ha coinciso con la scoperta da parte dell'homo sapiens della propria capacità di inventare e usare strumenti; e quindi di fare, di costruire, di antropizzare e sottomettere la natura.”. *Ibid.*

15. BLANCO, Giorgio. *Storia, simboli ed espressione della pietra*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 17

16. GIRASANTE, F. e POTENZA, D. *Costruire con le pietre*. In LATORRE, T. e RISOLA, N. (eds.). *Involucri lapidei: L'uso della pietra per l'abitare contemporaneo*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2009, p. 9

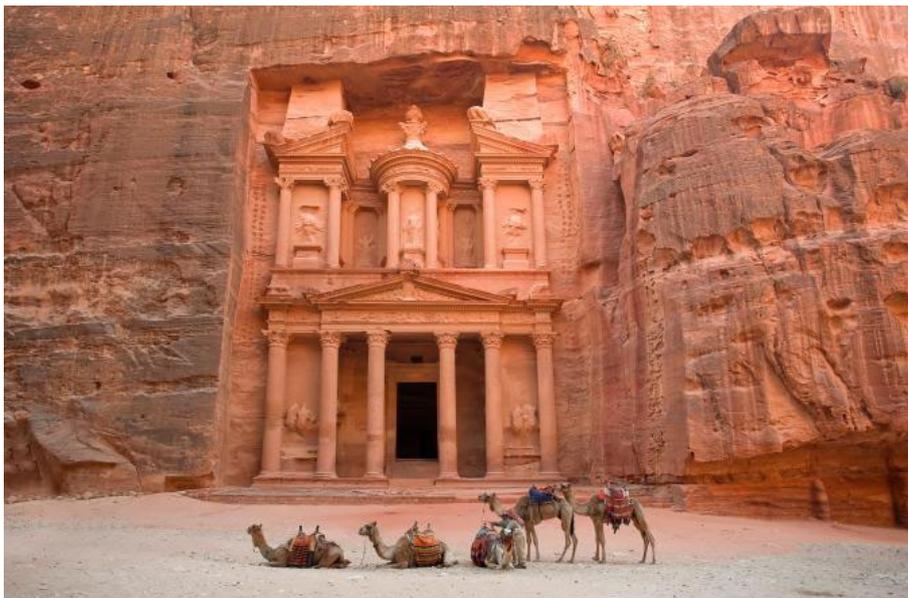


Fig. 8_Al-Khazneh, O Tesouro, Petra, Jordânia, séc. II d.C., talhado no arenito rosa da região, demonstrando a perícia do talhe da época



Fig. 9_Talhe contemporâneo de um elemento arquitectónico clássico

É um consenso entre vários autores o requisito de conhecermos o objecto com que trabalhamos a fim de retirar dele o melhor resultado. Alberti aconselha-nos no tratado *De Re Aedificatoria*, no Segundo Livro destinado aos materiais, em relação às pedras: “Não é de todo irrelevante ter uma compreensão das suas variedades e excelências, que nos permitirá adequar cada uma às funções que lhes competem”¹⁷. Qualquer material ou técnica carece de respeito pelo utilizador pois cada um carrega lógicas e dificuldades próprias que não devem ser subestimadas. “Ninguém pode utilizar em boas condições, sem cometer erros, aquilo que não conhece; (...) Por isso, ao falarmos de materiais de construção, temos de nos referir sempre às suas origens e evolução; se conhecermos a origem e o modo como se têm comportado, podemos entender melhor as suas características, virtudes e defeitos, e evitar utilizações inadequadas”¹⁸. A procura por uma imagem sem compreensão do desempenho real do material origina a situações problemáticas de desajuste entre a ideia e a construção. É com conhecimento íntimo do material que podemos manipulá-lo consoante a nossa vontade e desejo. Ao conhecer os seus limites e forças podemos explorá-las e colocá-las à nossa mercê, e assim responder ao desafio principal da acção de construir. Com os segredos do material desvendados, criam-se novos processos de transformação, orientam-se novos rumos para as escolhas de projecto e restaura-se o equilíbrio no processo arquitectónico, de composição e de construção¹⁹.

A pedra merece a nossa atenção não só pela história mas pelo potencial. Potencial científico, estético, experimental, histórico e arquitectónico. Apesar do preconceito espontâneo que liga o material a uma ideia de passado, de antiquado ou ultrapassado, é essencial afirmar que a pedra é “um material de construção que é antigo, mas não é velho”²⁰.

17. “Infatti non è fuori avere un’idea di quanto varie e sorprendenti siano le qualità delle pietre, in modo da potersene servire ai diversi fini che a ciascuna competono nella maniera più appropriata.” In ALBERTI, Leon Battista. *L’Architettura [De Re Aedificatoria]*. Milano: Edizioni Il Polifilo, 1966, p. 138 (II, Cap. IX, 29v)

18. BRANCO, José da Paz. *Manual do Pedreiro*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981, p. 9

19. LATORRE, T. e RISOLA, N. *Imparare dalla pietra*. In LATORRE, T. e RISOLA, N. (eds.). *Involucri lapidei: L’uso della pietra per l’abitare contemporaneo*. Foggia: Claudio Granzi Editore, 2009, p. 11

20. “(...) un materiale di costruzione che è antico, ma non è vecchio.” in CAVALLARI, Luigi. *Pietra*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all’architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 7

Pedra: Matéria, Método e Materialização



Capítulo 1

Matéria

Origem e Classificação	11
Material de Construção	41
Anomalias	59

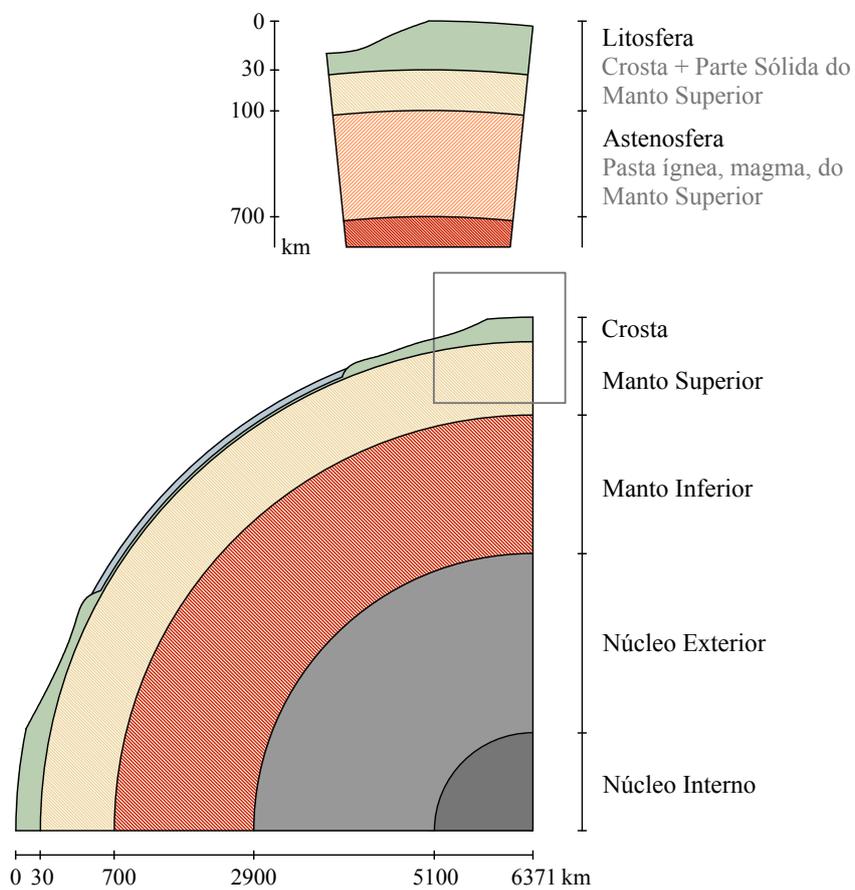


Fig. 10_Corte esquemático da composição terrestre

1_Origem e Classificação

1.1_Litosfera

Para compreendermos este material, é necessário compreendermos a sua origem e processo de formação. Falar da litogénese, o processo de formação das rochas, é falar sobre a consolidação e interacção das estruturas internas terrestres, das reacções químicas transformadoras e das forças físicas violentas que fazem da Terra uma complexa máquina colocada em moção desde a sua criação há 4,5 biliões de anos. As diferentes circunstâncias da moção das estruturas terrestres originam os diferentes tipos de rochas.²¹ A fim de evitar uma exposição demasiado extensa e complexa sobre um campo de ciência lateral aos objectivos desta dissertação, apresenta-se de forma sucinta o conhecimento necessário à apreensão da constituição da estrutura interna da Terra.

O planeta é constituído por quatro camadas concêntricas, sólidas ou líquidas, com a possível consideração de uma quinta camada gasosa, a atmosfera. A estrutura interna da Terra divide-se, desde da superfície até ao centro, em crosta, manto, núcleo externo e núcleo interno. Como é possível observar na Fig. 10, como planeta telúrico²², a Terra apresenta a característica litosfera, a parte rochosa e rígida mais externa do planeta²³, principalmente constituída de silício e alumínio, com presença de ferro e magnésio oriundos do manto. A litosfera terrestre é composta por placas tectónicas que se encontram em constante movimento sobre a pasta ígnea ou magma, a astenosfera, devido às elevadas temperaturas, pressões e rotação do planeta. A movimentação e interacção entre estas camadas, litosfera e astenosfera, tornam o planeta geologicamente bastante activo, evidenciado pela ocorrência de terremotos, actividade vulcânica e litogénese.²⁴

A actividade geológica, para além de resposta às condições de desequilíbrio produzidas pela interacção entre as estruturas internas terrestres, é o processo que molda a paisagem, o território, e as rochas que compõem a crosta terrestre. As rochas da primeira geração são a matéria-prima utilizada pelo ciclo de transformações geológicas para gerar as rochas actuais que compõem o planeta. Deslizando pela astenosfera, a luta contínua entre as placas tectónicas gera enormes forças que metamorfosearam a crosta terrestre, destruindo-a, submergindo-a

21. BRANCO, José da Paz. *Manual do Pedreiro*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981, p. 10-11

22. Categoria de planeta, planeta rochoso, similar à Terra, essencialmente constituído por materiais sólidos, apresentando-se estruturado em camadas com densidade elevada e com núcleo formado por elementos metálicos.

23. *litosfera* in Dicionário Infopédia da Língua Portuguesa [em linha]. Porto: Porto Editora. Consultado em 18-06-2018. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/litosfera>

24. BBC. *The structure of the Earth*. Consultado em 19-06-2018. Disponível em: http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/geography/natural_hazards/tectonic_plates_rev1.shtml



Fig. 11_Erupção vulcânica. O arrefecimento rápido superficial da lava gera tufo vulcânico, extremamente poroso



Fig. 12_Mármore Branco. Os veios cinzentos são indicação de presença de impurezas na calcite no momento da génese



Fig. 13_Granito Cinza Corumbá. A textura granular permite a leitura dos diversos minerais que o compõem

quilómetros abaixo da superfície, fundindo-a com as enormes pressões e temperaturas do magma e profundidade e expelindo-a sob a forma de novos magmas. Estes magmas consolidam e formam novo material lítico sólido que, nas condições correctas, entrará num novo ciclo de transformação e litogénese.

O efeito combinado da energia térmica, gravitacional, geológica, biológica e atmosférica desencadeia os diferentes processos de litogénese, consoante o nível de protagonismo dos diferentes factores, e assim gera os diferentes tipos de rochas, os constituintes da litosfera e consequente crosta terrestre.²⁵

1.2_ Mineral, unidade fundamental

As rochas, constituintes da litosfera, são a resposta aos diversos factores que contribuem para a sua formação, como tempo, temperatura, composição química, ambiente de formação, etc. e são sistemas tão dinâmicos como as estruturas terrestres. Elas decorrem da evolução tempo-espacial de um sistema físico-químico complexo dentro de um ou mais ambientes geológicos, consoante os patamares energéticos (estados de pressão e temperatura) que encontra no seu percurso. Quando o sistema atinge o equilíbrio termodinâmico – arrefecimento do magma para temperaturas atmosféricas – a rocha consolida-se mono ou polifásica, mediante a quantidade de fases constituintes oriundas do ambiente geológico que a origina.

Uma rocha é entendida como um conjunto mono ou polifásico, isto é, é constituída por uma ou mais fases – porções fisicamente homogéneas – a que chamamos minerais. Os minerais são a unidade fundamental que constroem e determinam o tipo de rocha que se origina. Rochas monofásicas (monominerais) são constituídas por porções homogéneas de um só tipo de matéria cristalina, por exemplo um mármore calcítico puro onde apenas encontramos cristais de calcite²⁶; as rochas polifásicas são constituídas por uma miríade de cristais de diferentes minerais. O granito é um dos exemplos deste tipo de rocha, onde encontramos geralmente quartzo, um ou dois feldspatos alcalinos, uma ou duas micas e outras espécies de minerais acessórios (irrelevantes para a definição da espécie da rocha).

É importante traçar a distinção entre “mineral” e “rocha” devido à utilização na linguagem comum dos dois como sinónimos. Rocha, como referido, pode ser constituída por um só mineral, mas geralmente

25. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1.ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 18

26. Carbonato de cálcio, $CaCO_3$

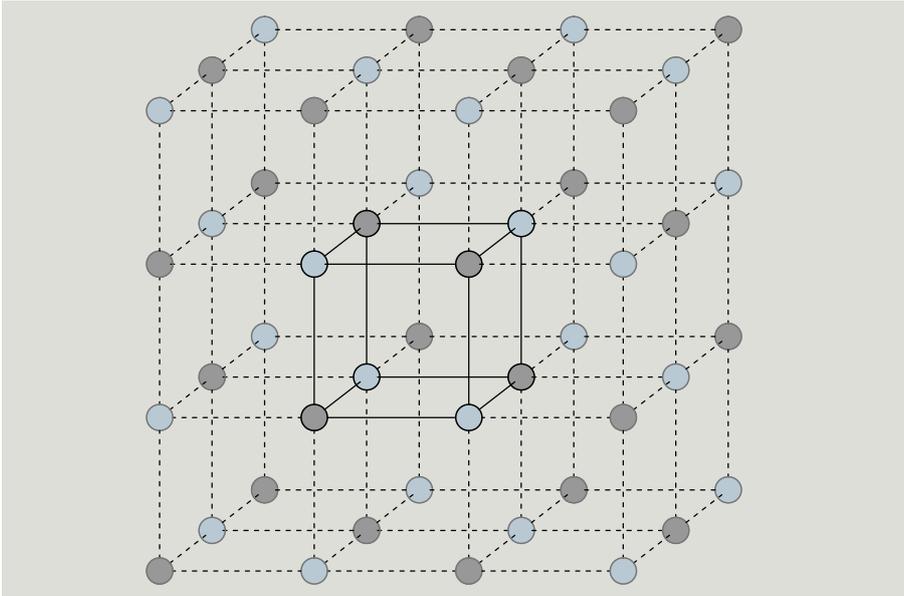


Fig. 14 Esquema de uma estrutura cristalina (rede modular). Exemplo para cloreto de sódio, $NaCl$, sal



Fig. 15 Feldspato potássico

é uma mistura complexa de vários minerais, cujas percentagens que nela ocorrem determinam a sua espécie. Devido à multitudine de arranjos que os minerais constituintes podem assumir entre si em rochas polifásicas, elas possuem estruturas e propriedades variáveis dentro da mesma espécie. Já o mineral, para além da unidade fundamental das rochas, é uma substância natural, sólida ou líquida, de propriedades físicas específicas, de composição química mais ou menos bem definida, variando dentro de limites rigorosamente estabelecidos pelas ligações atómicas ou moleculares dos constituintes²⁷. Um mineral implica que as ligações moleculares formem uma estrutura molecular cristalina, isto é, um arranjo atómico interno específico e rígido, que serve de instrumento essencial para a definição e classificação do mineral e da consequente rocha. Cada mineral tem uma malha tridimensional própria, definida por constantes geométricas precisas, porém este módulo estruturante possui certos graus de liberdade de composição química, já que o arranjo cristalino suporta a substituição de alguns elementos químicos por outros compatíveis e assim possibilita a criação de diferentes tipos de minerais com a mesma estrutura. Esta flexibilidade de substituição só é possível se os elementos em causa forem compatíveis em carga, raio iónico, estrutura electrónica, etc., com a rede onde se inserem.²⁸ Por este motivo, a estrutura cristalina e a composição química são as principais características que determinam a classificação de um mineral.

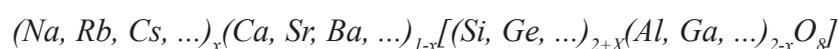
27. Caso a substância não possua uma estrutura cristalina, isto é, não possua uma estrutura/composição química suficientemente uniforme e regular para poderem ser considerado um minério específico, é denominado de mineralóide.

28. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 29

29. *feldspato* in Artigos de apoio Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora. Consultado em 20-06-2018. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/\\$feldspato](https://www.infopedia.pt/$feldspato)

30. Conjunto de minerais de composição química distinta que apresentam a mesma estrutura cristalográfica.

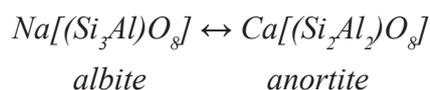
Os minerais mais importantes na mineralogia pertencem à família dos feldspatos, cuja importância decorre da sua abundância, constituindo cerca de 60% das rochas da crosta terrestre. Esta família divide-se em três grupos principais: feldspatos alcalinos (potássicos), plagioclases (feldspatos calcossódicos) e feldspatos raros (bário ou estrôncio assumem o lugar dos mais comuns potássio, sódio ou cálcio)²⁹. Devido à liberdade de composição química dos arranjos cristalinos, existem fórmulas gerais que descrevem a série isomórfica³⁰ que caracteriza o grupo. A fórmula química geral das plagioclases, a série isomórfica mais importante da mineralogia, apresenta a seguinte expressão:



Para valores $x=0$ e $x=1$, esta expressão dá-nos os extremos da série das plagioclases, os minerais albite e anortite:



Fig. 16_Conjunto de feldspatos potássicos, demonstrando a variedade existente dentro do mesmo grupo



Este breve exercício demonstra a flexibilidade das estruturas cristalinas e a multitude de minerais possíveis, dentro da mesma classe – plagioclases – e que se reflecte no comportamento do mineral ou da rocha que o incluir. O comportamento de uma substância é determinado pelo arranjo molecular interno, pois apesar da grafite e do diamante serem ambos constituídos unicamente por carbono, é o sistema cristalográfico, a morfologia da estrutura cristalina, que confere ao último a sua elevada dureza característica. Existem apenas sete tipos de módulos estruturantes simples. Eles são o cubo, prisma de base quadrada, romboedro, prisma hexagonal, prisma rômboico, paralelepípedo monoclinico e paralelepípedo triclinico. Elas apresentam 14 possíveis configurações, denominadas, redes de Bravais.³¹

Com um entendimento base da mineralogia é possível explorar as bases da petrologia e da classificação das rochas. A classificação petrológica é a primeira ferramenta de filtro e compreensão que o projectista dispõem para discernir a melhor escolha dentro do espectro de inúmeras possibilidades oferecidas pela multitude de pedras e os seus ilimitados minerais.

1.3_Sistemática

Como é deduzível, um espectro vasto de unidades combináveis gera um espectro exponencialmente vasto e complexo de grupos. Os grupos de minerais combinados serão tão complexos quanto os parâmetros de análise que lhe são aplicados. As rochas, como todas as outras dimensões da natureza e universo, são colocadas sobre um olho crítico e divididas em categorias. Todavia, a natureza imprecisa das rochas (devido à multitude de configurações possíveis) cria um problema de nomenclatura e classificação.

A classificação de uma entidade subentende a criação de uma estrutura abstracta que é imposta a uma colecção de objectos segundo a inteligência humana. Esta classificação visa descrever a estrutura e as relações dos objectos constituintes de uma colecção e simplificar estas relações de modo a permitir conjecturar correlações acerca das classes criadas. Uma classificação procura descobrir (ou impor) ordem na natureza. O estabelecimento desta estrutura supões os seguintes passos:

1. Definição da população de objectos abrangidos pela

31. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 25-26

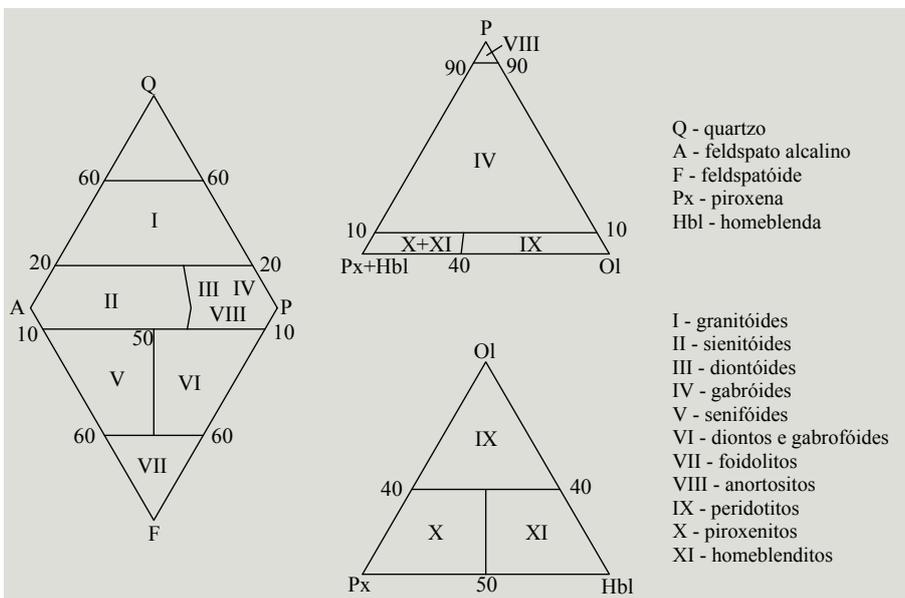


Fig. 17_Classificação da IUGS pra as rochas ígneas intrusivas (ver p. 21)

classificação.

2. Estabelecimento dos objectivos da classificação.
3. Selecção dos critérios (características, propriedades) necessários para atingir os objectivos propostos.
4. Agrupamento em classes consoante a similitude de características entre os elementos.
5. Definição de um grau de semelhança.
6. Atribuição de designação e nomenclatura às classes originadas do agrupamento.

A classificação deve ser criada com o intuito de ser compreensiva, capaz de abranger o maior corpo possível todavia também filtrar e discriminar os objectos incompatíveis, assim como deve gerar classes mutuamente exclusivas onde um objecto é apenas atribuível a uma única classe. É nesta exclusividade que a sistemática das rochas encontra um problema, pois o conceito de ‘espécie’ perde o rigor fundamental nas classificações biológicas. O carácter pragmático da classificação colide com o espectro complexo, sem limites precisos que separam uma rocha de outra. Considerando que a elaboração de uma classificação depende do tipo e quantidade de critérios que se elegem para a formação de dita estrutura, isto resulta em complexos quadros de classificação da população das rochas.

As classificações modernas da mineralogia e da petrologia utilizam várias vertentes da química, como a classificação periódica dos elementos químicos, a cristalografia estrutural, a química analítica, a hidrodinâmica e outras matérias a fim de elaborar as organizações de conhecimento a que se propõe. A título de exemplo desta complexidade, enumera-se as classificações químicas em qual os minerais podem ser organizados: Silicatos, Carbonatos, Sulfatos, Halóides, Óxidos (simples e múltiplos ou hidróxidos), Sulfetos, Fosfatos, Elementos nativos, Sulfossais, Nitratos, Boratos e Tungstos.³²

As classificações modernas da petrologia baseiam-se em diagramas percentuais da presença de certos elementos ou minerais. As classes e famílias são definidas pelas áreas que compreendem uma composição generalista dos minerais contemplados na classificação. Os diagramas adaptam-se consoante a espécie de rocha em estudo. A complexidade dos diagramas é paralela à das rochas que tentam traduzir.

32. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 30-31



Fig. 18_Quartzo branco transparente, segundo mineral mais abundante da Terra



Fig. 19_Estratos de carvão mineral (rocha sedimentar) em montanha, Alaska. A estratificação da massa rochosa evidencia a mudança de dinâmicas da litogénese. A litogénese é uma ferramenta para determinar tempos geológicos devido à sua capacidade de registrar, ao petrificá-los, aos processos inerentes à passagem do tempo

O grupo dos silicatos é a classe mais importante de toda a mineralogia devido à vastidão de conjunto de minerais que abrange e que compõem a crosta terrestre. É definida pela presença de um composto de silício e oxigénio, Si_xO_y , geralmente sob a forma do grupo $[SiO_4]^{4-}$. Os silicatos incorporam vários grupos, como o da sílica, dióxido de silício SiO_2 , o componente principal da areia, quartzo e vidro, e o já referido importante grupo dos feldspatos, pertencente à subclasse dos tectossilicatos, uma das seis subclasses dos minerais silicatados. Os feldspatos são aluminossilicatos, isto é, silicatos duplos de alumínio associados a potássio, sódio, cálcio e entre outros.³³ A complexidade da sistemática mineralógica e petrológica é exemplificada por um toque superficial a um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre.

1.4_Litogénese

Em termos petrográfico, a definição de uma rocha efectua-se pelo estudo da composição mineralógica da sua textura. Em geral, isto traduz-se na determinação de dois parâmetros já referidos: os constituintes (minerais e outros) e a sua distribuição espacial.³⁴

A litogénese é sem dúvida o parâmetro mais determinante para a classificação dos tipos de rochas devido à relação íntima entre constituintes e distribuição com a sua génese. Os processos de formação do material lítico estão impressos no produto que geram, da mesma forma que um bolo é o reflexo da qualidade dos processos que a massa sofreu. Conhecer a génese é a primeira ferramenta de filtro para delimitar as características e propriedades de um tipo de rocha. Devido à extensão e complexidade de classificações das rochas abordados pela petrologia, a presente dissertação irá apenas debruçar-se sobre os principais tipos de rochas reconhecidos, segundo a sua génese, não abordando em demasiada extensão as famílias e subclasses, sempre com a intenção de criar uma perspectiva sucinta mas informativa.

Segundo a litogénese, as rochas são divididas em três grandes grupos, nomeados de rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas.

1.4.1_Rochas Ígneas

As rochas ígneas são o resultado da solidificação da pasta ígnea da astenosfera. O arrefecimento da pasta ígnea, magma, deve-se à diminuição de temperatura e pressão. A velocidade do arrefecimento é

33. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 43 e 57

34. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 470-476

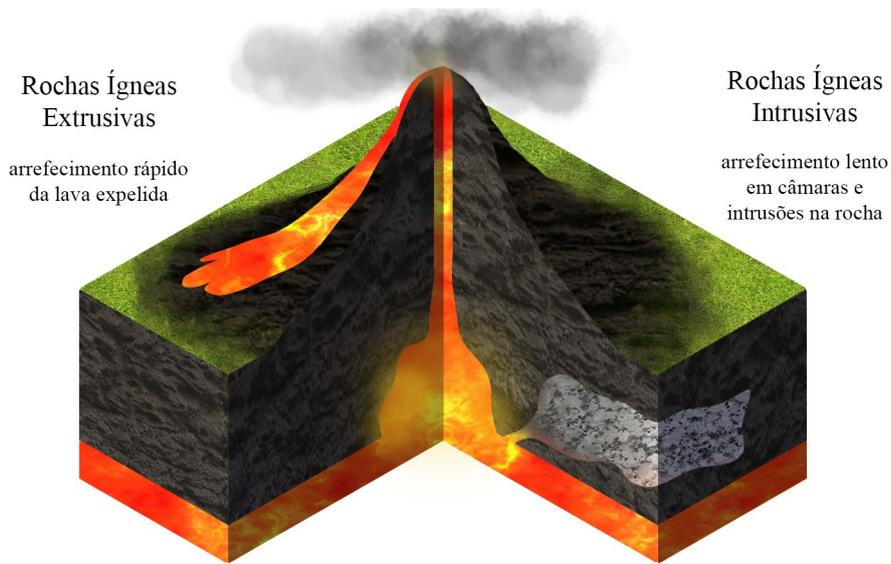


Fig. 20_Esquema da litogénese das rochas ígneas



Fig. 21_Comparação de dimensão dos cristais nas texturas fanerítica (gabro), afanítica (basalto) e vítrea (obsidiana)

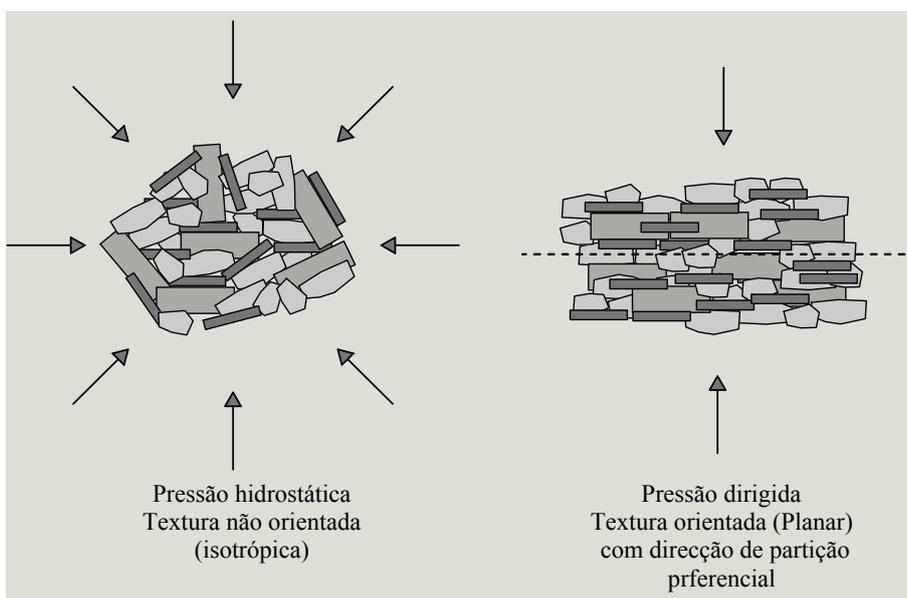


Fig. 22_Esquema da relação entre orientação cristalina e condições de pressão

condicionada pelo ambiente em que se desenvolve e influencia o nível de cristalização dos minerais arrefecidos que compõem o magma. Quando o arrefecimento acontece em ambientes endógenos, ou seja, abaixo da superfície terrestre, dentro da crosta ou manto, a rocha ígnea (ou magmática) é chamada de intrusiva (ou plutónica). Devido à reduzida velocidade de arrefecimento ocorre a cristalização total dos minerais constituintes, ou seja, resulta uma rocha de textura holocristalina. Textura é uma característica tridimensional, referindo-se à distribuição e formato dos minerais constituintes da rocha. A textura abrange classificações como a dimensão dos cristais, onde, com toda a massa da rocha cristalizada, diz-se que possui textura ou matriz fanerítica, isto é, possui um granulado visível macroscopicamente.³⁵ As rochas ígneas intrusivas exibem, para além de uma textura granular bem definida, uma considerável densidade, resistência à compressão, ao gelo-degelo e à absorção de humidade³⁶. Quando em ambiente exógeno, perto da superfície da crosta, a rocha ígnea chama-se de extrusiva (eruptiva ou vulcânica). Por se situar no interface entre litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, o arrefecimento é rápido, o que leva as rochas extrusivas a apresentar diferentes níveis de cristalização: holocristalina (totalmente cristalina), hemicristalina (parcialmente cristalina e parcialmente vítrea) e vítrea (totalmente vítrea, aparência similar a um vidro). Mesmo as rochas extrusivas holocristalinas distinguem-se das intrusivas holocristalinas pela aparência, pois a granulação é fina e geralmente não observável macroscopicamente, o que se diz textura ou matriz afanítica.

As condições de pressão durante a cristalização definem a orientação dos cristais internos. Em situações de pressão hidrostática (não dirigida), gera-se uma textura holocristalina equigranular (não orientada); em situações de pressão dirigida (somatório de pressões define uma direcção preferencial), os minerais alongados orientam-se normais à direcção da pressão principal, e assim geram-se texturas holocristalinas orientadas. É a determinação das texturas planares, por exemplo no granito, que determinam a direcção preferencial de partição da pedra, o chamado correr da pedra.³⁷

As rochas ígneas ainda se classificam pela sua composição química, nomeadamente, pelo teor de sílica que possuem. O teor abrange desde rochas ácidas, com alto teor de sílica, e ultrabásicas, no limiar do teor de sílica. Estes teores influenciam não só a cor mas também o comportamento da rocha:

35. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 18

36. AIRAPETOV, D. *Architectural materials science*, Tradução de Alexander B. Kuznetsov. Moscow: MIR Publishers, 1986, p. 107

37. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 19

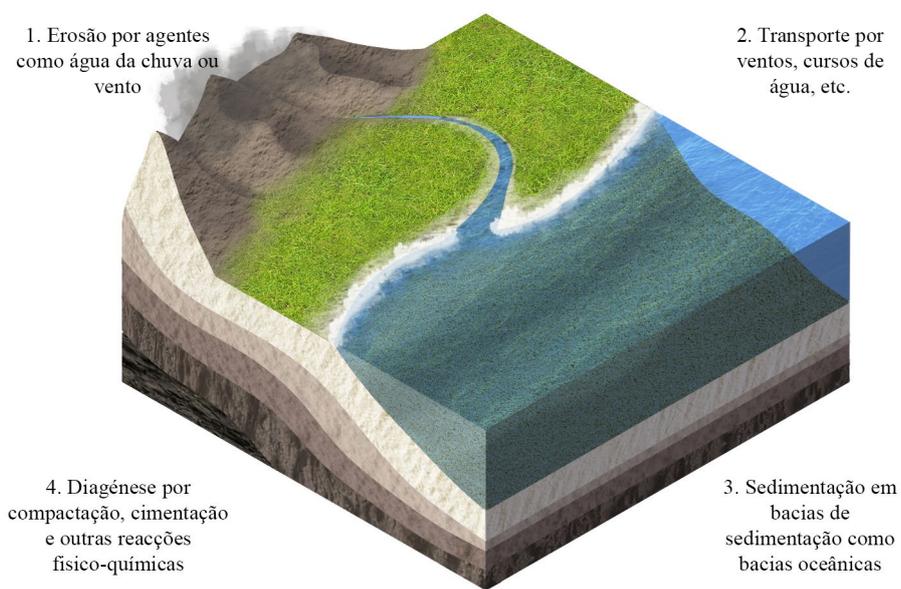


Fig. 23_Esquema da litogênese das rochas sedimentares

- Rochas ácidas – teores de 65 a 66% de SiO_2 , e em geral, são claras e pouco densas, como o granito. A ocorrência de minerais acessórios influencia o escurecimento da tonalidade.
- Rochas intermédias – teores de 52 a 65% de SiO_2 , e em geral, são cinzentas escuras com densidade intermédia, como o diorito.
- Rochas básicas – teores inferiores a 52% de SiO_2 , e em geral, são bastante escuras, como o basalto.
- Rochas ultrabásicas – teores equivalentes a 40% de SiO_2 , e em geral são de tonalidade escura, de verde escuro a negro e muito densas, como o peridotito.³⁸

As rochas ígneas incluem exemplares como o granito, o basalto, o sienito, o gabro, o diorito e o peridotito, com o granito como importante representante das rochas ígneas intrusivas ácidas e o basalto como das rochas ígneas extrusivas básicas na construção, especialmente na construção portuguesa.

1.4.2_Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são secundárias aos processos geológicos da Terra, pois formam-se dos produtos de desintegração das gerações anteriores de rochas ou por precipitação química³⁹. Numa primeira fase o sedimento móvel constituído por elementos soltos – consequente da desagregação de qualquer outro tipo de rocha – é transportado por agentes ambientais como correntes, ventos, ciclos de degelo, etc. para depressões continentais ou bacias marinhas onde se deposita e consolida, formando rochas coerentes. De forma genérica as rochas sedimentares passam por um processo constituído pelas seguintes passos:

- Erosão: desintegração da rocha original. A erosão pode ser de natureza mecânica ou química.
- Transporte: movimentação do material erodido da origem até a bacia de sedimentação. Este passo incorpora um processo de erosão secundário por acção dos agentes de transporte o que leva o sedimento a sofrer arredondamento das arestas, calibragem e alteração química dos minerais mais susceptíveis.
- Sedimentação: deposição do sedimento na bacia de sedimentação.
- Diagénese: conjunto de reacções físico-químicas que

38. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 21-22

39. Processo químico onde se forma um sólido, o precipitado, que se separa da solução original. Esse é o processo que origina as estalagmites, estalactites e colunas nas grutas.

40. Preenchimento dos espaços entre detritos por material de precipitação química, carbonato ou sílica.

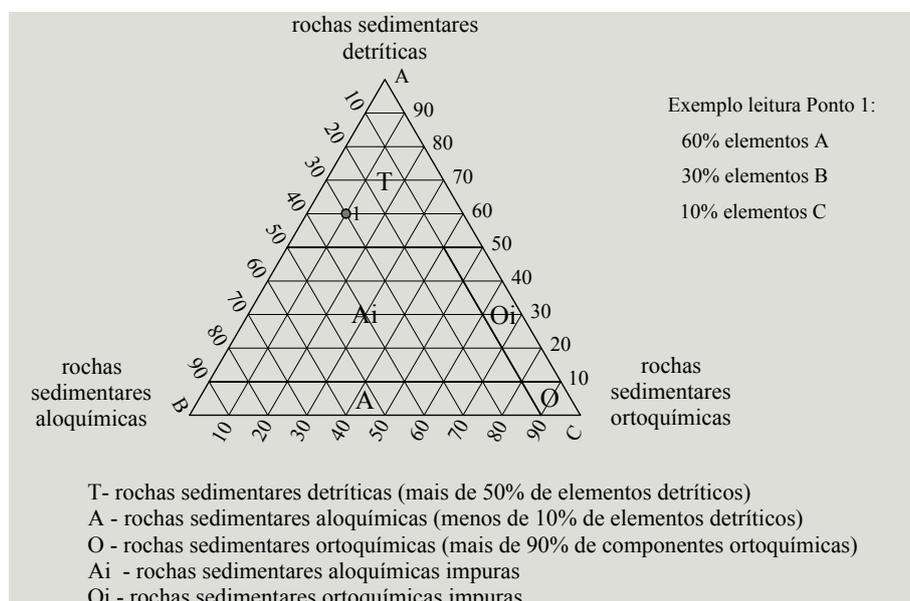


Fig. 24 Classificação das rochas sedimentares em termos de conteúdos detriticos, aloquímicos e ortoquímicos

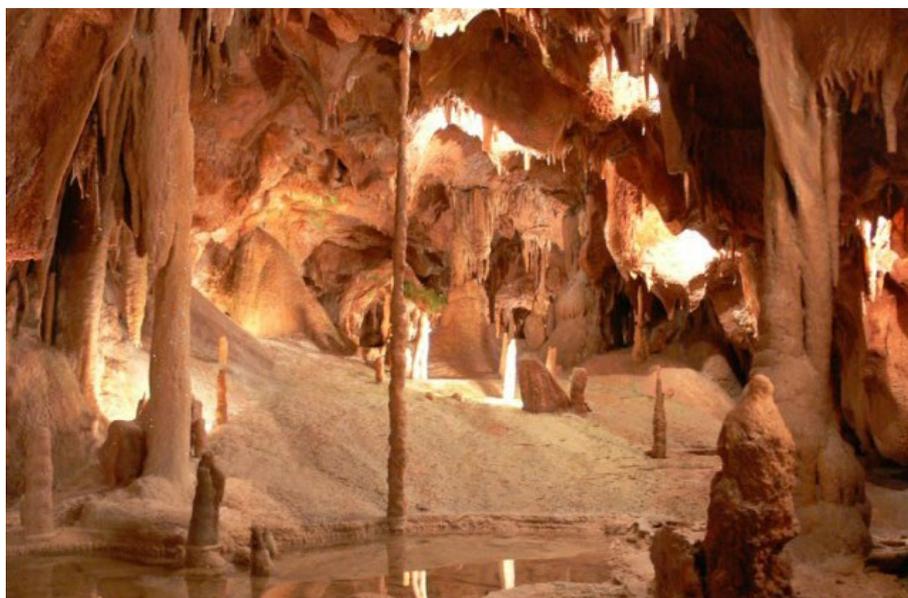


Fig. 25 Gruta de Alvados, gruta calcária, Portugal. Os ciclos de fluxo e evaporação de água provocam a precipitação de calcário formando estalactites, estalagmites e colunas

transformam os sedimentos soltos em rochas coerentes através de, sobretudo, compactação por peso próprio e cimentação⁴⁰.

Devido à natureza cíclica da sedimentação e das características do ambiente exógeno em que a diagénese ocorre – relativa temperatura e pressão baixas – as rochas sedimentares ficam marcadas por planos de consolidação e dão à rocha o seu aspecto característico estratificado, por camadas.

A classificação das rochas sedimentares suporta-se na percentagem presente dos três componentes principais das rochas sedimentares: constituintes detríticos (fragmentos de rochas), aloquímicos (carbonatos procedentes da própria bacia, como conchas ou fósseis), e ortoquímicos (predominantemente carbonatos formados por precipitação química). Devido ao espectro variado que a natureza dos detritos depositados podem tomar, as rochas sedimentares são divididas, principalmente, em dois grupos: rochas detríticas (ou terrígenas) e rochas de origem química.

As rochas detríticas são caracterizadas pelo aspecto fragmentar, isto é, uma textura de fragmentos de rochas preexistentes, minerais que resistiram à alteração, e outros de neoformação, aglutinados por uma matriz argilosa ou cimento (carbonatado ou silicioso), como por exemplo as brechas.

As rochas de origem química abrangem as de precipitação química e as biogénicas, com predominância dos constituintes aloquímicos e ortoquímicos. Este grupo é ilustrado pelos calcários e os dolomitos, constituídos por $CaCO_3$ e $(Ca,Mg)CO_3$, onde respetivamente a percentagem dos carbonatos mencionados é superior a 90%. Devido à natureza química do calcário, este efervesce em contacto com ácidos (a frio) e riscam-se facilmente com canivete, distinguindo-os das rochas silicatadas, a generalidade das rochas ígneas. O dolomito não apresenta a mesma efervescência mas possui a mesma dureza. Quando os restos de animais ou plantas incorporados na rocha se tornam proeminentes em relação aos restantes constituintes, o calcário passa a designar-se biogénico, da qual o travertino é um exemplo muito apreciado. É constituída por carbonato de cálcio que depositou e substituiu restos vegetais ou animais, em fontes e bacias termais. A título de curiosidade e demonstração da complexidade de nomenclatura e classificação das espécies das rochas, os calcários podem ser divididos em doze categorias consoante a percentagem e origem dos elementos aloquímicos e ortoquímicos presentes.⁴¹

41. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, pp. 23-29

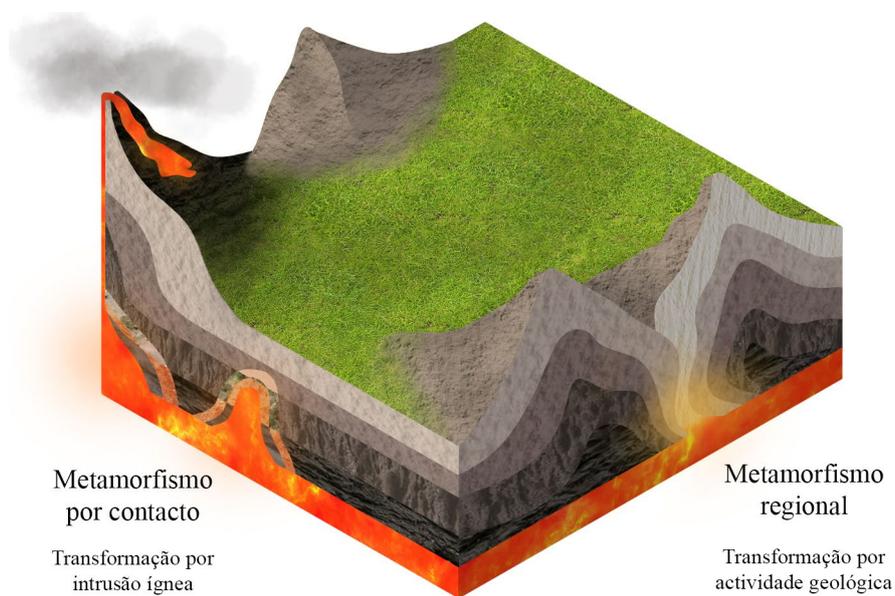


Fig. 26_Esquema de litogênese das rochas metamórficas



Fig. 27_Ardósia, devido ao alto grau de xistosidade, tende a destacar-se facilmente em lâminas

As rochas sedimentares incluem exemplares como o calcário, travertino, brechas, dolomito, gesso, sal-gema, carvão, ou mesmo, argilas e areias (rochas sedimentares detríticas não consolidadas).

1.4.3_Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas são o resultado de transformações metamórficas a rochas preexistentes, transformações levadas a cabo pelos processos geológicos internos da Terra. O metamorfismo, transformações mineralógicas e estruturais com alterações físicas ou químicas das características da rocha preexistente, é levado a cabo por agentes de metamorfismo, como temperatura, pressão (hidrostática e dirigida), intrusão de fluídos e tempo. Diversos cenários geram rochas metamórficas como aumento de pressão por acções tectónicas, ou aumento de temperatura e alteração da composição química por proximidade a uma intrusão de pasta ígnea na rocha. O metamorfismo é em geral rápido. As reacções químicas e transformações mineralógicas mais comuns resumem-se à recristalização dos minerais e reformação de texturas cristalinas, por acção da temperatura elevada; à compactação da rocha com formação de uma matriz granular polimórfica por acção da pressão hidrostática; ao esmagamento da rocha com orientação dos minerais alongados e formação de planos, por acção de pressões dirigidas; à troca iónica e reacções químicas por acção de fluídos; à alteração da textura microscópica por acção do tempo, isto é, da duração do fenómeno de metamorfismo.

É possível identificar dois processos distintos de génese das rochas metamórficas, o metamorfismo regional e o de contacto. O primeiro refere-se ao desenvolvimento do metamorfismo em áreas extensas, onde fenómenos geológicos e tectónicos levam à evolução dos materiais rochosos em paralelo com a formação de cadeias montanhosas, vulcanismo e afloramento. O segundo, de contacto, refere-se à evolução metamórfica da rocha adjacente através do aumento de temperatura devido à intrusão de uma massa magmática. A transformação ocorre numa área à volta da intrusão ígnea, e onde o grau de metamorfismo diminui rapidamente conforme a distância a essa intrusão.

A xistosidade – clivagem⁴² xistenta, laminação, ou seja possibilidade de obter placas finas e perfeitas – assim como a foliação – alternância de bandas com composição mineralógica e textural diferente

42. “Propriedade que têm certos minerais de se dividirem mais facilmente segundo certos planos” in *clivagem* in Dicionário Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora. Consultado em 19-06-2018. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/clivagem>

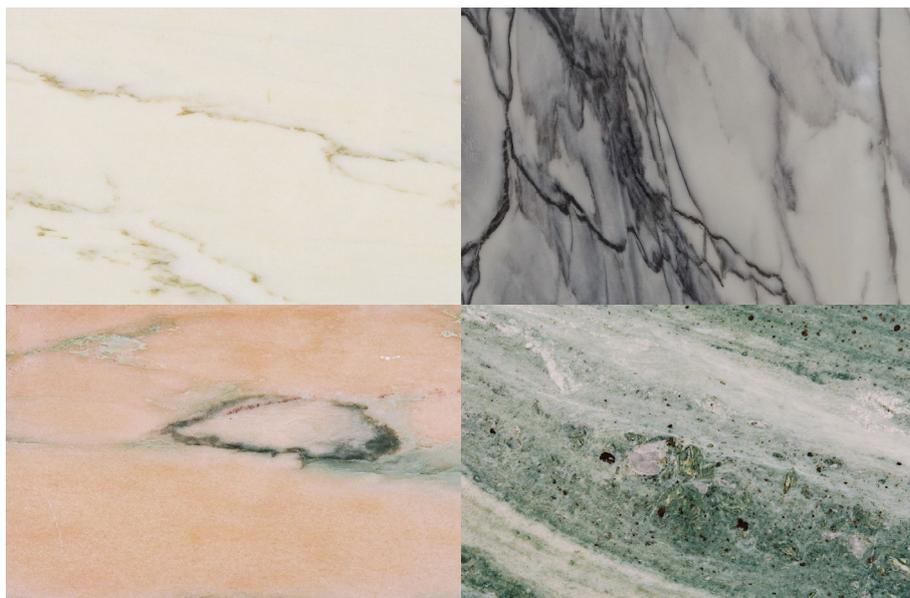


Fig. 28 _Conjunto de mármores portugueses, da esquerda para a direita, Branco com veios castanhos (Évora), Pele de Tigre (Évora), Rosa com veios verdes (Évora), Verde Serpa (Beja). A gama cromática dos mármores é extensa e rica de multitude de texturas

– são das estruturas metamórficas mais comuns. A xistosidade derivada da acção de pressões dirigidas e baixas temperaturas, originando, como referido anteriormente, a orientação paralela ou subparalela dos constituintes minerais alongados, como na ardósia. A foliação está muito presente em rochas metamórficas derivadas de rochas sedimentares de precipitação química, em especial calcários impuros, devido à estratificação da sedimentação, assim como está presente nas derivadas de rochas ígneas orientadas, devido ao esmagamento e recristalização dos minerais orientados, formando as bandas de composição distinta. Gera-se em ambientes de pressão e temperatura intermédia a elevadas, gerando rochas como gnaisses e mármore.

Tal como a composição química do magma determina a composição da rocha ígnea gerada, a rocha preexistente determina, em parte, a rocha metamórfica gerada. O mármore, um dos exemplares mais comuns das rochas metamórficas, apresenta uma variabilidade de propriedades maior que dos granitos, podendo assumir uma tonalidade de branco puro se a rocha original for calcário puro ou então cores como verde, bege ou creme venado se o calcário tiver impurezas, for margoso ou dolomítico. Devido à complexidade de classificação petrográfica das rochas metamórficas, para além da composição mineralógica, textura e estrutura, chega-se a utilizar minerais acessórios para melhor definir a rocha.⁴³

As rochas metamórficas incluem exemplares como mármore, gnaisse, quartzito, serpentinitos, xisto, ardósia e outras rochas xistentas.

1.5_Classificação Comercial

Apesar das classificações petrográficas explicitarem a enorme riqueza desta matéria, e servirem como poderosas ferramentas para prever o seu desempenho, é inegável a complexidade de ambos, quer da estrutura sistemática ou dos objectos estudados. A fim de criar uma abordagem mais simples e imediata dos tipos de pedra disponíveis no mercado (que são menores do que todo o espectro existente na natureza) criou-se um conjunto de classificações derivadas do ponto de vista industrial e comercial. As classes criadas designam a maioria das rochas por granitos, mármore e calcários, com a especial nota de que em Portugal, pela utilização das rochas xistentas, adiciona-se a classe das ardósias. Embora a generalização comercial das espécies decorra dos principais tipos de rochas utilizados, existe uma abordagem

43. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, pp. 34-38



Fig. 29_Placagem de granito porfiróide, porticado norte da rua do Dr. Magalhães Lemos (frente para Praça D. João I)



Fig. 30_Basalto porfírico com fenocristais (cristais de grandes dimensões em textura afanítica) brancos

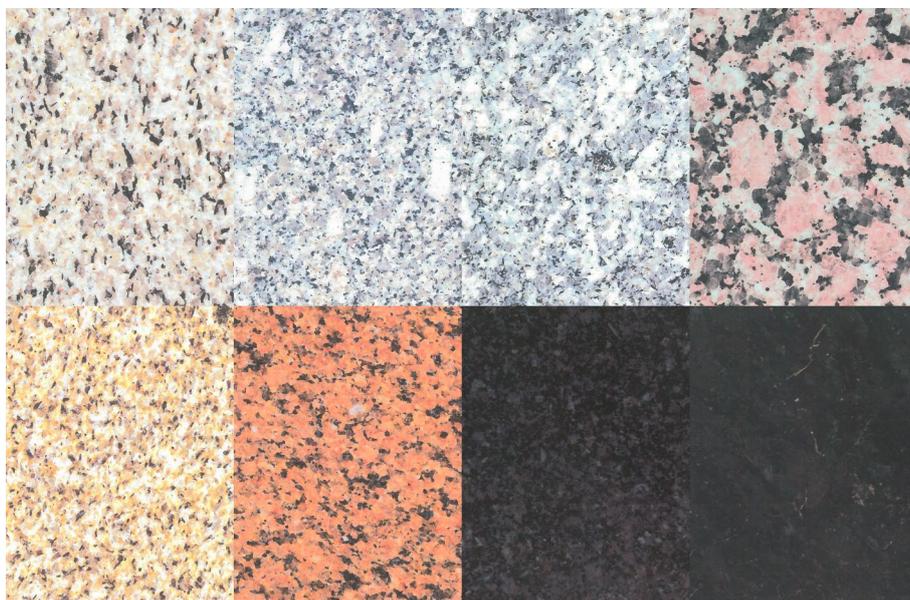


Fig. 31_Tonalidade de granitos e granitóides portugueses: Branco Porto, Cinzento de Rio de Moinhos, Azul Tragal, Rosa Santa Eulália, Amarelo de Fonte Arcada, Vermelho de Barbacena, Preto de Odivelas e Verde Donai

ainda mais abrangente, que recorrendo às diferenças de estrutura e composição química, simplificam-se as classes em dois grandes grupos, os granitos e mármore, que se tornam sinónimos de rochas duras ou macias, respectivamente. A natureza desta divisão deriva dos processos tecnológicos utilizados na extracção e transformação assim como na durabilidade e trabalhabilidade associada às aplicações tradicionais. Esta divisão é na verdade uma distinção entre as rochas silicatadas (granito) e as carbonatadas (mármore). No entanto, é importante referir, que apesar de esta simplificação ser simples pode induzir o arquitecto, construtor ou projectista em erro, devido às classes demasiado redutoras de todos os apanágios do material lítico. O indivíduo que eleger a pedra deve prestar atenção às características do material que ultrapassam uma reducente distinção entre rochas duras ou macias.

Um ponto particular das classificações comerciais é que a sua generalidade utiliza topónimos do local de extracção da pedra para descrever um grupo de rochas que partilham características muito similares, abatendo em parte a ambiguidade gerada pelas classes comerciais tão generalistas.

1.5.1_Granitos

Como já analisado, os granitos são rochas ígneas intrusivas holocristalinas com matriz fanerítica de granularidade muito variada, desde muito fina nas centenas de micrones até grosseira com dezenas de centímetros – quando a matriz da rocha incorpora cristais mais desenvolvidos que os restantes, resultando em megacristais, diz-se que a rocha tem textura porfiróide, como nos granitos porfiróides⁴⁴. Sobre um ponto de vista macroscópico são rochas duras e normalmente difíceis de trabalhar mecanicamente. Estas rochas apresentam um espectro abrangente de tonalidades, desde branco como o Branco Porto, cinzento como o Cinzento de Rio de Moinhos, azul como o Azul Tragal, rosa como o Rosa Santa Eulália, amarelo como o Amarelo de Fonte Arcada e vermelho como o Vermelho de Barbacena. Outras rochas, não correctamente granitos, são incorporados nesta categoria o que aumenta as tonalidades disponíveis como o preto, com o Preto de Odivelas, e o verde com o Verde Donai. Estes granitóides, rochas similares ao granito, e outros, são incluídos nestas classificação comercial por possuírem uma ou mais das seguintes características: possuem composições químico-mineralógicas semelhantes, são rochas silicatadas ou possuem

44. Se a matriz da rocha é afanítica, como acontece nas rochas ígneas extrusivas, e com a ocorrência de megacristais, diz-se que a rocha possui textura porfírica.

45. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 471-472



Fig. 32_Templo romano de Évora, Portugal, Séc. I d.C. Toda a obra se apresenta em granito, em excepto as bases e capitéis coríntios das colunas, em mármore branco de Estremoz



Fig. 33_Capitel do Templo romano de Évora após a intervenção de restauro de 2017. O contraste entre o mármore e o granito foi re- vigorado



Fig. 34_Sé do Porto. O uso do granito é predominante, especialmente nas intervenções envolventes dos séculos posteriores

um processo produtivo semelhante ao do granito.⁴⁵

As rochas graníticas são utilizadas como material de construção sob diversas formas, desde perpianho, cantaria, silharia, patela, paralelepípedos, esteios, lajes, placas, guias de passeio, cubo, e ainda mais utilizadas, após um tratamento superficial adequado, em revestimento como rochas ornamentais. São abundantes sobretudo no norte do país, nas Beiras e Alentejo, onde apresentam grande diversidade textural. Apresentam-se sobretudo na região minhota como Viana de Castelo, Braga e Guimarães, na região do Douro, como Águas Santas (Maia), Penafiel e Amarante, em Trás-os-Montes como Chaves, Vila Pouca de Aguiar e Bragança, na região beirã como Lamego, Guarda e Castelo Branco e no Alentejo como Santa Eulália, Monforte e Beja, entre muitas outras pedreiras. A sua aptidão para construção e ornamento estende-se até para a obtenção de areão, areia, caulino, etc. Por todas as regiões onde os granitos e granitóides predominam, este tipo de pedra materializou os principais monumentos, palácios, pontes e até habitações comuns. As Sés das principais cidades nortenhas são em granito porém também no sul encontramos exemplos como o Templo Romano de Évora, um exemplo do casamento entre duas rochas nobres, o granito e o mármore.⁴⁶

Os basaltos, incorporados nestas categorias por serem rochas silicatadas e duras, apesar de extrusivas (face aos granitos que são intrusivas) são usadas nas ilhas da Madeira e Açores em inúmeros monumentos desde igrejas a palácios devido à abundância. Devido à sua dureza são utilizados no continente como pavimento em calçadas, como brita para estradas ou balastro para vias férreas.⁴⁷

1.5.2_Mármore

Os processos de metamorfismo conferem aos mármore, como rochas metamórficas, uma variabilidade de propriedades. Ao contrário da diferença de gênese, alguns mármore possuem propriedades similares aos granitos, mas tal decorre da sua composição química e do metamorfismo associado. Por exemplo, os mármore de tonalidades claras ou brancas, provêm de rochas calcárias puras o que confere à rocha as propriedades intrínsecas dos calcários. Os calcários, “uma rocha de grande importância estratégica em Portugal”⁴⁸, são comercialmente incluídas no grupo do mármore apesar de não serem um rocha metamórfica, mas sim sedimentar de origem química.

46. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, pp. 75-77

47. Idem, p. 86

48. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 473

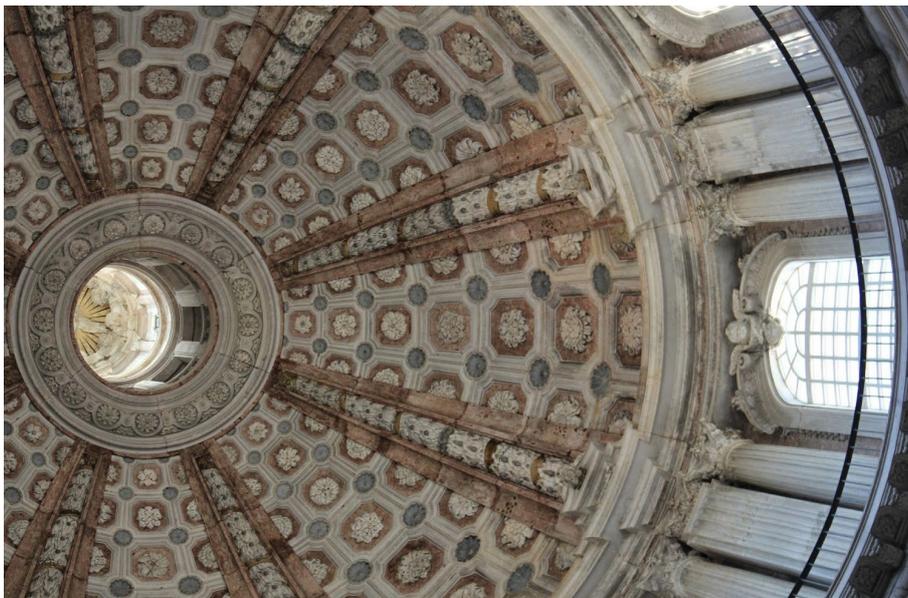


Fig. 35 Cúpula da Basílica do Convento de Mafra. A policromia pétreia é o instrumento de desenho deste elemento arquitectónico



Fig. 36 Detalhe do portal do Mosteiro da Batalha. As archivolts e o tímpano demonstram a trabalhabilidade dos calcários para desenvolver uma rica gama de pormenores na ornamentação



Fig. 37_(esq.) Interior do Convento de Jesus, Setúbal. As colunas torcidas em brecha rosa da Arrábida são o elemento caracterizador do espaço desta obra

Fig. 38_(dto.) Detalhe do portal do Convento de Jesus, Setúbal. A textura fragmentar da brecha é usada como elemento de destaque

Os mármore explorados em Portugal apresentam uma elevada percentagem de calcite (a dolomite é subordinada ou simplesmente ausente) com uma textura geralmente granoblástica⁴⁹, por vezes sacaróide, de grão fino a médio. Apesar de raramente apresentarem grão muito grosseiro, são bastantes ricos em pigmentações que origina grandes variações de tonalidade e homogeneidade, mesmo dentro da mesma pedreira. Os mármore da região Estremoz-Borba-Vila Viçosa são de grande relevância, particularmente famosos no país e além-fronteiras. Estes mármore apresentam tonalidades brancas, cinzentas e rosadas (das quais mais apreciadas e valiosas). As cidades e vilas alentejanas são ‘culpadas’ de ostentar muito a beleza dos seus mármore. A policromia dos mármore e calcários permite o desenvolvimento de jogos de cores e a criação de imagens ou padrões ornamentais em diversas construções, principalmente monumentos, como na cúpula do convento de Mafra.⁵⁰

Os calcários portugueses apresentam um elevado grau de estratificação, uma sequência de camadas visíveis. Geralmente, as camadas encontram-se separadas por planos de descontinuidade (ou de estratificação) cuja estrutura mostra os elementos detríticos que estão na origem destas rochas sedimentares.⁵¹ São principalmente explorados nos distritos litorais do país como Lisboa, Coimbra, Aveiro, Leiria, Santarém, Setúbal e Faro, com um grande espectro de finalidades, desde material de construção, ornamental ou estrutural (em cantarias quando compactos), a fabrico de cimento, de cal hidráulica, cal viva, etc. A generalidade destas pedras apresenta fraca dureza e resistência ao esmagamento, permitindo um trabalho fácil para a execução de motivos ornamentais complexos que os granitos e granitóides dificilmente permitem, da qual o Mosteiro da Batalha é um exemplo. A composição e idade geológica dos solos está relacionada com a tonalidade (composição e desempenho) das pedras extraídas.⁵²

As brechas, uma rocha sedimentar detrítica incluída nos mármore, são rochas muito apreciadas, depois de polidas, como rochas ornamentais devido à riqueza cromática e textural dos fragmentos constituintes. Um dos exemplos construídos com a chamada ‘brecha da Arrábida’ é o Convento de Jesus em Setúbal, cujas colunas torcidas róseas capturam o olhar pelo contraste cromático e o dinamismo do entrelace dos colunelos conduzem o olhar para as abóbadas.⁵³

49. Predominação de minerais granulares, com possíveis minerais tabulares dispostos sub paralelamente

50. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 83

51. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 473-474

52. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 77

53. Idem, p. 84



Fig. 39_Pedreira de ardósia, Valongo



Fig. 40_Empresa das Lousas de Valongo, perto da pedreira de ardósia



Fig. 41_Museu da Lousa, Valongo, 2001. Utilização de uma técnica tradicional de construção de pedra xistenta para revestimento contemporâneo

1.5.3_Ardósias

As ardósias ou lousas são rochas metamórficas de tonalidade escura, cinzenta ou azulada, que se distinguem devido ao elevado grau de xistosidade. A sua estrutura permite uma separação fácil do material em lâminas paralelas que clivam precisamente pelos planos de xistosidade. Outras rochas xistentas participam nessa categoria, tal como o quartzito, cuja utilização cresceu recentemente, apesar de ser de grande abundância na arquitectura vernacular como material primário de construção. A escolha deste tipo de material requer uma maior atenção por parte do projectista devido às propriedades mecânicas da pedra. Devido à sua fragilidade, fica inibida de desempenhar os mesmos papéis que outras pedras conseguiriam, todavia, tal não deve desincentivar o seu uso. Apesar das suas limitações à tracção e flexão, a sua estratificação permite um revestimento mais económico devido à criação natural de placas finas.⁵⁴

As ardósias são exploradas principalmente na região de Valongo para lousas, placas, tampos de mesas, e revestimentos, quer de coberturas ou fachadas.⁵⁵

Devido à apresentação simplificada, por parte do mercado, do conhecimento técnico-científico, torna-se essencial que o arquitecto se instrua nas disciplinas que abordam os materiais de construção. É necessário, sempre que se utiliza uma pedra, saber mais do que as principais propriedades. A sua origem, modo de extracção, processo de produção e transformação, método de aplicação e manutenção, são todos dados cruciais para extrair da pedra mais do que um simples material de construção, mas sim uma ferramenta de arquitectura, um aliado na materialização de uma ideia.

54. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 474-476

55. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 86



Fig. 42_A variedade textural e cromática da pedra é acompanhada por um espectro igualmente complexo e variado de desempenhos e propriedades que a (des)adequam para certos usos, cortes, tratamentos ou ambientes

2_Material de Construção

2.1_Características

O desenho de arquitectura deve estar atento a vários factores quando utilizar a pedra: a compatibilidade da composição química do material face ao ponto de aplicação; a resposta adequada das propriedades físicas e mecânicas face aos esforços solicitados; considerações sobre a quantidade, dimensão, qualidade do material utilizado a fim de evitar esgotamento do produto para projectos de larga escala; averiguar se as técnicas de extracção são as mais adequadas para o produto final pois, por exemplo, a utilização de métodos de desmonte podem deteriorar internamente as rochas incapacitando-as para finalidades à partida possíveis; estudar a relação entre velocidade, eficiência e custo das técnicas de extracção e transformação a fim de evitar atrasos, erros e aumentos de custos; acautelar o procedimento de aplicação do produto de pedra e as correctas formas de manutenção, entre várias outras. O conhecimento do arquitecto de todo o ciclo de transformação da rocha em pedra poderá minimizar a probabilidade de falha, evitar custos desnecessários e precavê-lo de reacções e comportamentos adversos por parte da pedra escolhida em benefício de todo o projecto.⁵⁶ Não se impõe ao arquitecto que domine todas as áreas do saber dos materiais que propõe, todavia a base de uma aplicação vantajosa e benéfica passa pela humildade de entender o material com que se trabalha.

Entender o material de construção, as suas peculiaridades, os seus limites, as suas virtudes e exigências é a base da correcta utilização. A pedra, um material economicamente exigente face aos novos produtos industriais do mercado, pode tornar-se vantajosa a longo prazo quando tomamos em consideração as suas regras de uso, manutenção e preservação, especialmente quando comparada com ditos produtos inicialmente mais baratos. Ignorar os princípios, não só da pedra, mas de qualquer material, é arriscar a aumentar drasticamente os seus custos associados. Como se referiu, não é imposto ao arquitecto que conheça a pedra em toda a sua extensão, mas sim que consiga estabelecer um diálogo compreensível com um especialista com o qual uma cooperação será sempre vantajosa, especialmente para a resolução de problemas específicos.⁵⁷

Embora a quantidade de tipos de rochas seja vasta, nem todas providenciam material de construção. Seja a dificuldade de trabalhabilidade ou de extracção, algumas espécies não cumprem os

56. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 467-469

57. TENAGLIA, Antonio. *Il ruolo dei materiali apidei in architettura*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 60



Fig. 43_Pedreira de Colacara de mármore, Carrara, Itália. Os veios e tonalidades que percorrem a montanhem exemplificam a diversidade mineralógica existente no mesmo jazigo



Fig. 44_Pedreira de Colacara de mármore, Carrara, Itália. Os blocos de mármore são extraídos até alcançar as intrusões na rocha. As características estéticas e mecânicas alteram consoante a proximidade à intrusão. A variação de qualidade ocorre dentro da mesma pedreira

requisitos que uma “boa pedra de construção deve obedecer”⁵⁸ e portanto são descartadas do uso construtivo, apesar de poderem encontrar outros usos. O entendimento de um material de construção tem sido rectificado à medida que as ferramentas e o conhecimento científico evoluíram. Em geral, uma pedra deve ter resistência mecânica que consiga responder satisfatoriamente aos esforços a que vai ser submetida, quer sejam o resultado de cargas estáticas ou dinâmicas, como o peso próprio dos elementos e estruturas da construção ou acções do vento, sismos, vibrações, etc.; deve ter resistência à acção do tempo que assume forma em determinados agentes, quer como ciclos de degelo, térmicos, fogo, água, etc.; deve ter uma trabalhabilidade que permita a extracção e transformação sem a ocorrência de custos desequilibrados (energéticos, monetários, ambientais) para o efeito desejado; deve possuir uma porosidade não exagerada para que não absorva demasiada humidade e desenvolva anomalias nos elementos, mas que não seja insuficiente de forma a impedir ou dificultar a aderência de argamassas (se necessário).⁵⁹

Apesar do valor estético deste tipo de material, as propriedades físicas e mecânicas devem sempre determinar a eleição final da pedra utilizada. Devido à origem natural das rochas, mesmo com a complexa sistemática mineralógica e petrológica desenvolvida, esta matéria carece de uma carácter constante regulável que se constrinja inegavelmente às normas científicas. Dentro da mesma pedreira é possível encontrar tipos de rochas com a mesma classe comercial com diferenças de desempenho invisíveis ao olho nu. É fundamental para a definição da qualidade e desempenho das pedras, a execução de um determinado número de estudos e ensaios recorrendo a provetes de amostra da origem. Só deste modo se pode, como se tem iterado, utilizar adequadamente a pedra, evitando circunstâncias para as quais o material eleito não é indicado, e assim atingir o valor estético, técnico e comercial mais elevado e satisfatório. Esta preocupação de avaliar as propriedades das pedras advém da disponibilidade do mercado para pagar os estudos necessários e dar aos produtos pétreos uma garantia de qualidade e de preço.

O estudo deste material de construção passa, para além da análise petrográfica (determinação do arranjo estrutural e composição mineralógica) com descrição da matriz (tonalidade e granularidade), pela execução de ensaios físico-mecânicos que podem ser agrupados em três categorias fundamentais: ensaios de identificação, ensaios de

58. BRANCO, José da Paz. *Manual do Pedreiro*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981, p. 9

59. Idem, p. 9-10



Fig. 45_Ensaio de resistência à compressão num provete cúbico

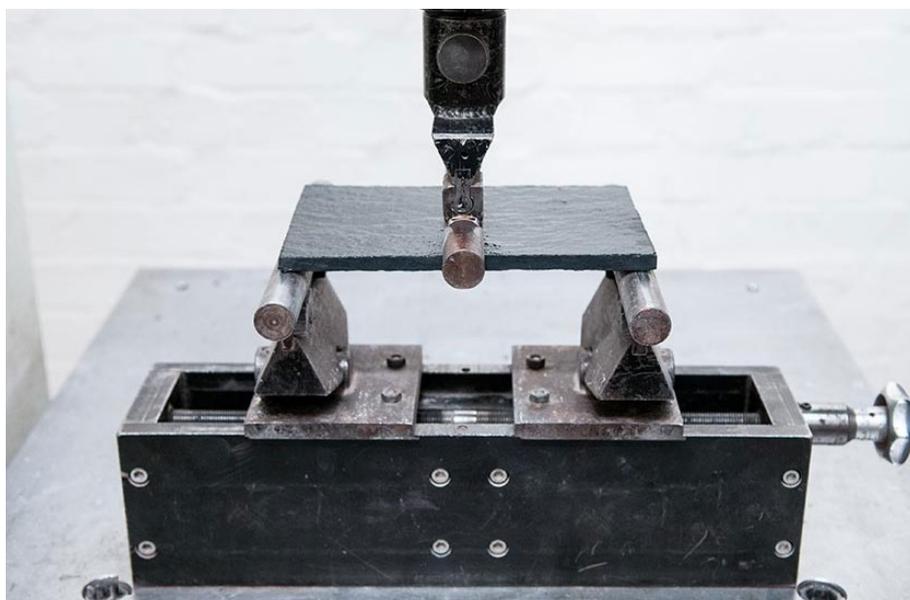


Fig. 46_Ensaio de resistência à flexão (3 pontos) num provete planar



Fig. 47_Medição de dilatação térmica ou higroscópica linear

desempenho em obra e ensaios de durabilidade.

Os ensaios de identificação visam determinar características básicas, como resistência à compressão, à flexão (sob carga centrada ou sob momento constante), determinação da massa volúmica aparente, determinação de porosidade aberta (aparente), determinação da absorção de água (à pressão atmosférica), determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade, etc.

Os ensaios de desempenho em obra visam avaliar o comportamento e desempenho dos produtos pétreos. Estes ensaios abrangem a determinação do coeficiente de dilatação linear térmica, determinação da resistência ao choque (altura mínima de queda), resistência às ancoragens e resistência ao escorregamento.

Os ensaios de durabilidade visam prever o período de tempo durante o qual o elemento pétreo desempenhará, sem colapso, as funções para as quais foi concebido. Estes ensaios colocam os provetes sob acção dos agentes do tempo previstos e mais prováveis de actuar. Determinam valores como a resistência ao gelo, à cristalização de sais, ao choque térmico, ao desgaste por abrasão, etc. O teste de gelo-degelo é o mais realizado, cujos resultados por norma são expressos em termos da diminuição da resistência à flexão após determinado número de ciclos, consoante a aplicação final (tipicamente 100 ciclos para materiais de cobertura e 50 para pavimentos). Como foi mencionado, estes testes continuam a actualizar-se assim como a nossa compreensão do comportamento dos materiais e das ameaças à sua durabilidade. Foram, dentro desta década, desenvolvidos testes de envelhecimento acelerado para a determinação de resistência a nevoeiro ácido (consequência da poluição atmosférica) e resistência a nevoeiro salino (efeito de atmosfera marinha).⁶⁰

A aplicação da pedra acarreta exigências intrínsecas à natureza da sua utilização e das características das condições a que ficará exposta. Os produtos pétreos, devido ao requisito de controlo de qualidade consequente da marcação CE, devem ser testados obrigatoriamente dentro dos parâmetros que mais solicitarem a pedra no seu novo meio. Uma análise petrográfica será sempre o ponto de partida, todavia, uma pedra de ornamento em arte funerária e uma a figurar numa lareira sofrerão solicitações e esforços distintos. Por exemplo, um elemento pétreo de arte funerária será testado à sua resistência à flexão e aos ciclos de gelo-degelo enquanto uma pedra para lareira necessitará de testes à sua resistência à flexão, coeficiente de dilatação térmico linear,

60. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 490

Pedra: Matéria, Método e Materialização

	rochas ígneas portuguesas			rochas sedimentares portuguesas			rochas metamórficas portuguesas		
	Granito de Alpalhão (SPI) (Nisa)	Grande Cristal (Braga)	Preto de Odivelas (Ferreira do Alentejo)	Semi-rijo (Porto de Mós)	Vidraço de Ataija azul (Alcobaça)	Travertino (Condeixa-a-Velha)	Rosa Aurora (Vila Viçosa)	Verde Viana (Viana do Alentejo)	Xisto do Barrancos (Beja)
Resistência mecânica à compressão kg cm ⁻²	2534	813	1405	550	1653	753	872	1023	437
Idem após gelividade kg cm ⁻²	2408	715	1681	555	1568	486	950	795	375
Resistência mecânica à flexão kg cm ⁻²	219	193	390	108	135	109	179	162	355
Densidade	2,661	2,698	2,985	2,346	2,676	2,379	2,717	2,742	2,728
Absorção de água %	0,29	0,16	0,02	5,12	0,35	2,35	0,06	0,07	1,02
Porosidade aberta %	0,78	0,42	0,06	12,03	0,93	5,51	0,16	0,18	2,78
Coefficiente de dilatação térmica linear x100/°C	8,8	7,1	6,0	5,7	3,9	5,8	7,3	13,5	7,2
Resistência ao desgaste mm	0,4	0,3	0,5	5,9	3,4	5,3	3,7	2,2	9,8
Resistência ao choque: altura mínima de queda cm	65-70	70	60	32	35	45	50-55	55	110

Fig. 48_ Tabela comparativa das características físico-mecânicas de algumas das principais pedras portuguesas

coeficiente de absorção de água, entre outros. O desempenho correcto do elemento pétreo deve ser sempre assegurado a modo de evitar acidentes ou envelhecimento prematuro.⁶¹ Por exemplo, no caso dos pavimentos, é necessário assegurar a resistência ao deslizamento, que é dado através da medição do valor de USRV (*Unpolished Slip Resistance Value* – EN 14231) que no caso dos materiais polidos deverá ter um valor mínimo de USRV de 35. Nos casos em que a pavimentação é executada com placas cuja rugosidade superficial é superior a 1 mm, esta medição não é normalmente efectuada.⁶²

As classificações petrográficas (granito, travertino, mármore, calcário, ardósia, etc.) fornecem de imediato ao projectista uma informação base sobre as características físicas, mecânicas e químicas, tal como o comportamento tecnológico, decorrentes do carácter natural da pedra. Contudo, devido à complexidade dos processos de litogénese e composição química, admite-se a possibilidade de variabilidade das propriedades dentro da mesma espécie, razão pela qual os ensaios laboratoriais ganham tanta relevância como instrumento final de análise, estudo e caracterização.⁶³ Os ensaios permitem determinar concretamente os limites e potenciais intrínsecos de cada pedra, como por exemplo, determinar a força mínima de ruptura ou o dimensionamento máximo que esta permite.

Embora seja impossível descrever todas as propriedades típicas de todas as pedras utilizadas na indústria (informação disponível em diversos bancos de dados), é possível demonstrar a sua variabilidade através de alguns exemplos presentes na tabela da Fig. 48. Dentro de todos os tipos, ígneo, sedimentar ou metamórfico, podemos ver um grande intervalo de valores, com pedras bastante frágeis, como o Semi-rijo, e pedras bastantes rígidas, como o Vidraço de Ataija azul, ambas rochas sedimentares. As rochas sedimentares e metamórficas apresentam valores de resistência mecânica à compressão significativamente inferiores aos das rochas ígneas, ricas de quartzo e feldspato. Dentro das rochas ígneas, há que distinguir entre as ricas de quartzo, como o Granito de Alpalhão com 2534 kg cm⁻² e as rochas desprovidas de quartzo como o gabro olivínico, Preto de Odivelas com 1405 kg cm⁻². Dentro da classificação do granito, o porfiróide Grande Cristal apresenta as repercussões da textura sobre a resistência mecânica à compressão, com um valor muito inferior, 813 kg cm⁻², face aos granitos coesos e de grão fino, como o Granito de Alpalhão com 2534 kg cm⁻². As rochas xistosas, da qual o Xisto de Barrancos é exemplo, além de serem menos

61. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 483

62. Idem, p.501

63. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1º Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 44



Fig. 49_(esq.) Máquina de ensaio de abrasão e desgaste (tipo Böhme)

Fig. 50_(dto.) provetes para ensaios de resistência ao desgaste, normalizado por EN 1338, EN 1339, EN 1340 e entre outras



Fig. 51 Máquina refrigeradora para ensaio de ciclo de gelo e degelo, normalizado por EN 12326-2, entre outras

resistentes, absorvem significativamente mais água que os mármore e rochas ígneas, todavia possuem uma das maiores resistências à flexão e ao choque, características concedidas pela xistosidade.⁶⁴

Os valores apresentados resultam da medição empírica e experimental em algumas rochas portuguesas e devem ser entendidos como valores médios de desempenho para cada tipo de rocha, mas não definitivos do seu tipo, já que a diferença de propriedades pode acontecer entre rochas da mesma espécie e até dentro da mesma pedreira. Conhecer estes valores é dos primeiros cruciais passos que qualquer arquitecto se deve propor, como se tem iterado, para entender as capacidades e limitações das pedras seleccionadas e aferir a aplicação mais correcta (ou descartá-la).

2.2_Qualidade e Normalização

A procura pela garantia da qualidade dos produtos pétreos manifesta-se na existência e na contínua normalização. A normalização procura estabelecer exigências sobre uma actividade específica de forma ordenada e sistemática, para o benefício participativo de todas as partes envolvidas e assim promover a optimização da economia através da supressão de obstáculos originados pelas diferentes práticas nacionais e internacionais, melhorar a organização e coordenação do processo produtivo, promover a economia de matérias-primas e de tempos de produção, proteger os interesses dos consumidores, melhorar a especificação dos produtos evitando a necessidade constante de amostras, fornecer meios de comunicação e um vocabulário comum entre todas as partes interessadas, promover uma maior qualidade de vida através da segurança, saúde e protecção ambiental, e assegurar requisitos funcionais. A elaboração, publicação e promoção do emprego das normas provêm de diferentes origens. Actualmente, o Comité para a Normalização Europeia (CEN – Comité Técnico 246) é a principal entidade que “desenvolve definições, requerimentos e métodos de teste para pedras naturais utilizadas em blocos, lajetas, semiacabados e produtos finalizados intencionados para uso em edifícios e para monumentos”⁶⁵, através das normas EN (normas europeias). As normas NP (normas portuguesas) são criadas pelo IPQ, o Instituto Português de Qualidade, e as normas ISO são normas da Organização Internacional da Normalização. Portanto, uma norma “NP EN ISO” é uma norma internacional, traduzida e aplicada na Europa, com este caso particular

64. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, pp. 213-215

65. CEN.CEN/TC246-Natural stones. Consultado em 26-06-2018. Disponível em: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:6227&cs=170D4BD6399C2CC53134C177FA4705416

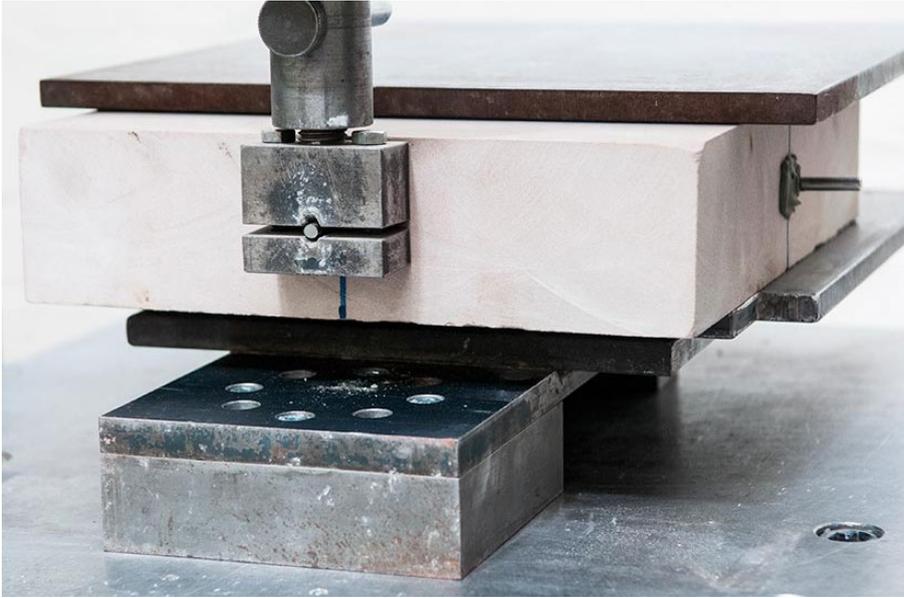


Fig. 52_Ensaio de resistência às ancoragens, determinação do módulo de rutura na cavilha, regulado pela EN 13664, entre outras



Fig. 53_Análise ao microscópio da textura (tamanho, arranjo e proporção) cristalina de uma espécie pétreia, normalizado pela EN 12047, entre outras



Fig. 54_(esq.) Cartaz promocional do slogan da Marca da Pedra Portuguesa “We offer the best (from Portugal to the World)”. Versão Guitarra Portuguesa, Pedra Natural: Granito - Amarelo Luzelos

Fig. 55_(dto.) Conjunto de Certificações da marca StonePT

de estar traduzida e publicada em Portugal.

As normas portuguesas podem ser consultadas na biblioteca da sede do Instituto Português da Qualidade, Almada, distrito de Setúbal, ou através do site <www.ipt.pt/>. As normas europeias e internacionais podem ser adoptadas como normas portuguesas sem proceder à respectiva tradução e publicação em Portugal, dado que a versão inglesa é a mais frequentemente seguida a nível europeu.

Se um produto cumprir a normalização aplicada, recebe a marca CE, que desde finais de 2003 adquiriu um carácter obrigatório a todos os bens que entrem no mercado da União Europeia. A marca anexa ao produto indica que este cumpre as directivas europeias, isto é, que as características a controlar em cada tipo de utilização estão dentro dos valores estipulados pelas normas aplicadas. A título de exemplo, a EN 12372 (resistência à flexão), a EN 1926 (resistência à compressão) e a EN 1341 Anexo D (resistência ao deslizamento) são normas obrigatórias no caso dos pavimentos exteriores. As normas tentam regular o ensaio de todas as propriedades e circunstâncias de desempenho dos produtos pétreos. Cada tipo de utilização também possui características de controlo voluntário, tal como a EN 12407 (designação petrográfica). O seu carácter voluntário não deve ser sinónimo de irrelevância pois, como já analisado, toda a informação sobre as propriedades físicas, mecânicas ou estéticas são cruciais para a correcta selecção, aplicação e manutenção por parte do arquitecto.⁶⁶

2.3_Mercado e Promoção

Para além da normalização do sector pétreo, outros sistemas de certificação e promoção foram introduzidos nas últimas décadas para estimular o mercado pétreo e a sua difusão no sector construtivo. Existe um esforço nacional para certificar e promover uma ‘marca de pedra portuguesa’ que visa difundir as capacidades técnicas dos seus produtos pétreos assim como lutar pelo reconhecimento internacional da qualidade da pedra natural portuguesa. A StonePT® certifica qualquer empresa cujos produtos cumpram, baseado em critérios rigorosos e normalizados, as características físico-mecânicas cruciais assim como o apropriado dimensionamento, modo e tipo de aplicação de cada tipo de pedra. Esta certificação não se cinge apenas a uma espécie de pedra ou tipologia de transformação, mas sim a todos os produtos, sob qualquer forma ou grau de processamento.⁶⁷

66. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 476-479

67. Idem, p. 482 e 484



Fig. 56_Marmomac 2018 realiza-se em Setembro, na sua 53ª edição, para exposições de materiais, maquinaria, empresas e inovações do sector pétreo



Fig. 57_Marmomac 2017, vista aérea



Fig. 58_Exposição The Italian Stone Theatre 2017, Marmomac

68. StonePT. *Pedra Portuguesa*. Consultado em 26-06-2018. Disponível em: <https://stone-pt.com/pt/stonept-2/>

69. “O objetivo do projeto BARÓMETRO DO MÁRMORE é conseguir dar destaque aos Mármore, e por esta via conhecer e divulgar o seu verdadeiro posicionamento internacional, [...] minimizando o risco de Portugal perder posicionamento mundial em relação a esta região. Por outro lado, apresentar informação sobre a inovação empresarial, em particular práticas de gestão de inovação, permitirá fomentar o desenvolvimento da inovação de uma forma sistemática e sustentada, com vista ao reforço das suas vantagens competitivas numa economia cada vez mais globalizada e assente no conhecimento.” in ASSIMAGRA. *Barómetro do Mármore*. Consultado em 26-06-2018. Disponível em: <http://www.assimagra.pt/project/barometro-do-marmore/>

70. “Marmomac is the leading global event for the natural stone industry and represents the entire supply chain, from raw material to semifinished and finished products, from processing machinery and technologies to applications of stone in architecture and design. As a fundamental international meeting for all sectors in this field and an influential platform where business meets professional updating, Marmomac is the ideal venue in terms of quality and completeness of exhibits combined with the most advanced know-how in the natural stone processing operations.” in MARMOMAC. *International Trade Fair In Verona*. Consultado em 26-06-2018. Disponível em: <http://www.marmomac.com/en/international-trade-fair/>

71. M A R M O M A C . *Marmomac facts and figures*. Consultado em 26-06-2018. Disponível em: <http://www.marmomac.com/en/visitorsarea/marmomac-facts-and-figures/>

A Marca StonePT® é um projecto que resulta da parceria entre o IST (Instituto Superior Técnico) e a ASSIMAGRA (Associação Portuguesa dos Industriais de Mármore, Granitos e Ramos Afins) cuja assinatura pretende distinguir e promover a pedra portuguesa como um produto contemporâneo de qualidade e permitir aos produtores certificados reforçarem a confiança dos clientes, distinguirem-se dos concorrentes, reforçar a imagem da empresa, facilitar o acesso a novos mercados, evidenciar o cumprimento de requisitos normativos e aumentar a competitividade através de redução de custos mas não da qualidade. Mais informação sobre o projecto (documentos e candidaturas) pode ser encontrada no site <<https://stone-pt.com/pt/>>. ⁶⁸

A ASSIMAGRA, como associação que pretende contribuir para o reforço da capacidade competitiva e desenvolvimento tecnológico e económico das empresas portuguesas do sector, promove a colaboração e participação em eventos ou organismos congéneres. Exemplos destes projectos é o Barómetro dos Mármore que pretende destacar os mármore de Portugal (região Alentejo)⁶⁹ e o INTERSTONE, que em associação com a ANIET (Associação Nacional da Indústria Extractiva e Transformadora), procura a participação conjuntas das indústrias portuguesas nos maiores eventos internacionais para o sector, eventos estes como a Xiamen Stone Fair (República Popular da China), Middle East Stone Dubai (Emirados Árabes Unidos), Coverings (Estados Unidos) e a conceituada MARMOMAC (Itália) e as suas representantes nas Américas com a Vitória Stone Fair/Marmomac Latin America (Brasil) e StonExpo/Marmomac (Estados Unidos).

A Marmomac “é um evento líder global para a indústria da pedra natural e representa a inteira cadeia de fornecimento e transformação, desde matéria-prima até semiacabados e produtos finalizados, desde maquinaria e tecnologia de processamento até aplicações da pedra na arquitectura e no design”⁷⁰. Este evento anual contou, na sua versão de 2017, com 67 928 visitantes, dos quais 60,26% internacionais, com total de 147 países participantes. Contaram-se 1 636 bancadas de exibição dos quais 63,03% internacionais, ao todo de 56 países. Tudo compreendido em 3 dias de evento em mais de 81 mil metros quadrados.⁷¹

A continuação dos eventos e a normalização da indústria e mercado demonstram a vitalidade deste material de construção e a sua relutância em desvanecer-se do panorama construtivo e arquitectónico.

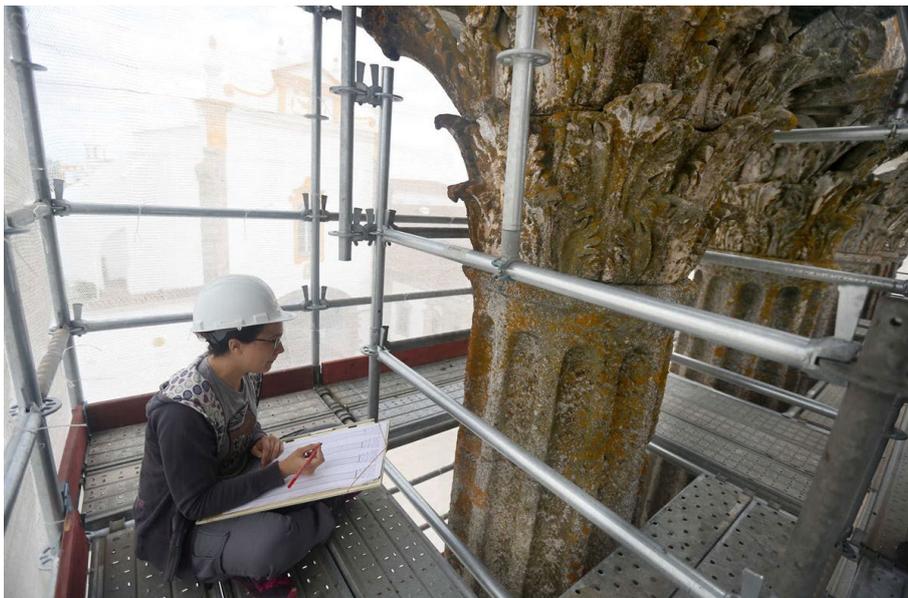


Fig. 59_Análise e registo das anomalias presentes em coluna do Templo romano de Évora antes de planear procedimento



Fig. 60_Teste de limpeza química em fachada pétrea



Fig. 61_Limpeza de fachada pétrea e os seus elementos através de jacto de água de alta pressão

2.4_Conservação e limpeza

Os mais de 4 mil anos das pirâmides egípcias ou os mais de 500 anos das catedrais góticas podem iludir à perenidade deste material, mas existe igualmente exemplos de como a pedra pode envelhecer prematuramente e desintegrar-se. Apesar do reconhecido carácter eterno da pedra, ela está sujeita a transformações consequentes da acção do tempo. Exemplos podem ser facilmente encontrados em ambiente urbano, pois é o mais propício à degradação do material, em especial, em ponto de vista macroscópico, com o aparecimento de manchas, fendas, desprendimento de lascas e descoloração⁷².

Extraír pedra implica retirá-la do seu ambiente geológico e expor o sistema mineralógico a novas circunstâncias. Em condições adversas, principalmente exposição à intempérie, conduzirá, ao longo do tempo, a “modificações no respectivo aspecto e na própria estrutura das rochas (...) muitas vezes como consequência da alteração do equilíbrio estrutural dos minerais que as compõem devido à sua adaptação a novas condições do ambiente, induzidas pela acção agressiva de variados processos naturais ou artificiais”⁷³.

De novo, reconhecer as características da pedra e compreender os mecanismos que provocam a sua alteração é uma forma de facilitar o trabalho de restauro ou reparação. É através da manutenção regular durante o período de vida útil da obra que a conservação é assegurada. A acção mais comum de conservação é a limpeza, cuja principal função é recuperar o valor estético original do elemento pétreo. Dentro das diversas técnicas, deve-se sempre utilizar a mais compatível com as características da pedra e do ambiente onde ela se encontra, já que um erro na escolha da técnica pode levar a danos irreversíveis, de valor incalculável se no caso de intervenção patrimonial. As acções de reparação visam principalmente corrigir defeitos superficiais na pedra como orifícios e fissuras, através do uso de argamassas ou resinas especiais que podem não só uniformizar a sua aparência, como proteger contra futuros danos ou impermeabilizar o material poroso.

Os processos de limpeza podem ser de carácter físico ou químico, utilizados em conjunto ou como técnicas isoladas. O método de acção é determinado pelas características dos materiais, o estado da degradação, a localização do problema, o efeito desejado, etc. As principais técnicas são: limpeza com jacto de água de baixa ou alta pressão, limpeza a jacto de ar (ar comprimido ou vapor de água) abrasivo, limpeza a jacto

72. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 510

73. MOURA, A. Casal. *Granitos e Rochas Similares de Portugal*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro, 2000, p. 103



Fig. 62_Canteiros recriando elementos arquitectónicos para substituição da Catedral de Canterbury



Fig. 63_Limpeza de fachada de placagem de pedra. Restauro das propriedades estéticas

de água abrasivo, limpeza com agentes químicos (aplicação de ácidos e bases), limpeza com raios laser, e outros processos como desbastar películas superficiais de pedra por abrasão (processo muito agressivo responsável por danos graves nas obras em que foi utilizado).

O restauro de edifícios não se estende unicamente à limpeza ou reparações superficiais, pois muitas vezes é necessário proceder-se a operações profundas como a substituição de elementos de pedra, reforço dos mesmos ou consolidação da própria estrutura. A maioria das situações de intervenção inclui a substituição de elementos como ornatos, pavimentos ou degraus, desgastados pelo tráfego muito acentuado. Dentro das aplicações de pedra em interiores, é possível verificar que as rochas silicatadas ácidas são as menos vulneráveis à degradação temporal quando comparadas com outras rochas, justificando a durabilidade universalmente aceite dos produtos em granito, tudo devido ao alto teor de silicatos.⁷⁴

A limpeza é o primeiro passo de valorização e conservação do material pétreo, e deve ser entendido como uma técnica com procedimentos próprios e específicos. A manutenção é determinante para o prolongamento da vida útil de qualquer material e uma forma de enriquecer o seu ciclo de vida e combater a formação de anomalias.

74. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 510-513



Fig. 64 Os processos de alteração por exposição aos elementos apagaram os detalhes da estátua funerária, e a colonização biológica descolorou-a

3_Anomalias

3.1_A pedra também falha

Como referido anteriormente este material está sujeito ao envelhecimento, desgaste e a preocupações de conservação. Mas por que falha a pedra? Não devia esta substância imponente resistir às acções do tempo e perdurar para a eternidade? No universo, nada é eterno, tudo é cíclico. A própria Lei da Conservação de Energia implica em si que deve ocorrer destruição como parte do processo natural da evolução do sistema que é o universo. As anomalias são o sinal irrevogável das transformações que este material aparentemente inerte e estático sofre.

O primeiro passo será perguntar-nos o porquê, o porquê das anomalias surgirem nas fachadas, nos passeios, no mobiliário urbano, nos aflorados rochosos. A rocha foi definida como um sistema químico, tal como a pedra que dela é extraída. Como tal, procura um estado de equilíbrio com o seu meio ambiente, logo está subordinado às condições e exigências que este impõe. O carácter da pedra é tão eterno quanto é compatível com o seu ambiente. As circunstâncias a que as pedras são sujeitas assim que extraídas, transformadas, transportadas e fixadas no edificado ditam a sua resposta, a sua evolução, e o seu envelhecimento. O envelhecimento do material lítico é a sua degradação, decomposição ou alteração levado a cabo por agentes físicos e químicos que transformam a pedra num novo produto, este, em equilíbrio com o novo ambiente, onde as anomalias são o produto e sintoma deste processo.⁷⁵

Serão as anomalias evitáveis? Para tal, será necessário parar o próprio processo de envelhecimento. O envelhecimento é não mais do que a evolução do sistema na procura do estado de equilíbrio, tal como nos organismos vivos, que morrem quando carecem de resposta adequada, e tal é, como em toda a matéria, governado pela Segunda Lei da Termodinâmica ou seja a tendência de qualquer sistema evoluir para o estado de maior entropia – desordem – possível e encontrar o estado onde a energia esteja homogeneamente distribuída. O gelo derrete. Um pneu esvazia. As rochas desintegram-se. Tudo são processos espontâneos explicados por essa tendência. É o ciclo de todas as coisas que corporiza a nossa percepção de tempo, ou seja, a evolução contínua num único sentido dos sistemas. Embora as anomalias sejam inevitáveis, podem ser combatidas ou atrasadas.

Ao envelhecimento, processo de decomposição e alteração,

75. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 109



Fig. 65_Grand Canyon, Arizona, EUA. O desfiladeiro com quase 1,8 km de profundidade é um testemunho do poder abrasivo e dissolvente da água, já que o rio Colorado (com parte de erosão eólica) escavou este fenómeno geológico ao longo de cerca de 5 milhões de anos

do material lítico chama-se de meteorização. A meteorização marca o primeiro passo do ciclo exógeno precedente à erosão e ao transporte⁷⁶. Os processos da meteorização, de onde as anomalias decorrem, não inclui só a desintegração mecânica e decomposição química mas também a formação de novos produtos, isto é, neofomações que podem ser igualmente consideradas anomalias como as crostas e pátinas.⁷⁷

Os principais agentes de meteorização podem ser de natureza mecânica, química ou biológica. Principalmente externos, apresentam-se sob a forma de acções mecânicas e químicas de organismos vivos, fogo, etc., ou como agentes atmosféricos, que variam com o clima sazonal, como a temperatura, humidade, acidez das chuvas, nevoeiro salino, etc. Os agentes internos, que também contribuem para a degradação prematura da pedra, são a textura da pedra, presença de minerais susceptíveis a alterações, porosidade, microfracturação interna, permeabilidade, capilaridade, higroscopicidade (o efeito de capilaridade pode saturar os poros da pedra com humidade que, se as temperaturas permitirem, congela, expande e fractura a pedra), etc.⁷⁸

A água é indiscutivelmente a maior ameaça à durabilidade de uma construção como será discutido ao longo deste tema. Em suas variadas formas de chuva, nevoeiro, bruma, orvalho, ciclos gelo-degelo, condensação ou ascensão capilar, constitui a principal causa do envelhecimento prematuro das pedras em obra, graças à sua acção hidratante e dissolvente. É também ela o principal veículo, em conjunto com o vento, de gérmes, esporos, pólenes, microorganismos, etc., que se incrustam nos poros, microfracturas e juntas defeituosas e promovem a biodegradação do elemento pétreo. A acção biológica contém a acção mecânica das raízes, musgos e similares, e as agressões químicas promovidas pela vegetação colonizada e pela fauna atraída.⁷⁹

As alterações sucedidas nos materiais líticos podem ser da ordem química ou mecânica. As alterações químicas resumem-se à destruição das estruturas cristalinas, à substituição ou movimentação de iões constituintes para estados de maior equilíbrio. As alterações mecânicas resumem-se à desintegração do elemento levado a cabo por esforços inesperados quer sejam por vandalismo ou erosão. As alterações são tão complexas e variadas como a pedra onde se manifestam, já que ambos agentes químicos e mecânicos podem desencadear o outro ou coexistir num ataque.⁸⁰ Apresenta-se de seguida uma lista sucinta das alterações e anomalias que se desenvolvem na pedra, como ilustração do variado leque de respostas que o sistema químico produz.

76. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 134

77. Idem, p. 134-135

78. MOURA, A. Casal. *Granitos e Rochas Similares de Portugal*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro, 2000, p. 103-104

79. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 247-248

80. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 109



Fig. 66_Alveolização de pedra calcária



Fig. 67_Concreções e manchas em placagem de granito no muro de canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)

Abrasão

Tipo de erosão/desgaste provocado pelo impacto de partículas.

Alteração cromática

Descoloração ou alteração de um ou mais parâmetros que definem a cor.

Alveolização

Degradação que forma cavidades/alvéolos com formas e dimensões variadas, podem interligar-se e possuem uma distribuição aleatória, contudo esta degradação é superficial desde décimos de milímetro a meio centímetro mantendo a parte interna sã.

Arenização, pulverização, enfarinhamento

Desintegração em fragmentos arenosos inferiores a 2 mm com queda espontânea do material pulveriforme.

Concreção

Depósito compacto de extensão limitada que se desenvolve na superfície lítica com sentido de crescimento preferencial não paralelo a ela.

Crosta

Camada compacta de material distinto do substrato, formada a expensas deste. De espessura variável, são duras, frágeis com características morfológicas e cromáticas distintas do substrato lítico. Podem destacar-se espontaneamente apresentando o substrato desagregado ou pulverulento.

Deformação

Variação da forma de um elemento construtivo.

Degradação diferencial

Degradação que coloca em evidência motivos texturais ou estruturas originais consequentes da heterogeneidade composicional ou estrutural

Depósito superficial

Acumulação de material estranho de natureza diversa (sujidade, poeiras, guano, etc.) com espessura variável, e em geral, fraca coerência e aderência aos materiais adjacentes.

Desagregação

Perda de coesão com destacamento de grânulos ou cristais à mínima solitação mecânica



Fig. 68_Eflorescência em placagem de granito



Fig. 69_Esfoliações no granito oxidado, Instituto Abel Salazar, rua Prof. Vicente José de Carvalho, Porto (2018)



Fig. 70_Fracturação e esfoliação dos silhares, Instituto Abel Salazar, rua Prof. Vicente José de Carvalho, Porto (2018)

Eflorescência

Formação superficial de substâncias, em geral, esbranquiçadas e de aspecto cristalino, pulveriforme ou filamentosos. Pode provocar esfoliações, escamações e lascagens.

Enfolamento, empolamento

Degradação sob forma de ampolas e bolas à superfície da pedra. Precede a escamação. A elevação superficial e localizada do material assume forma e consistência variável.

Erosão

Toda a modificação que implique perda de massa da superfície da pedra ou rocha. Quando de natureza mecânica, diz-se abrasão, quando química ou biológica, diz-se corrosão, quando antrópicas diz-se usura.

Escamação

Destacamento de camadas com espessura de 1 a 20 mm, paralelas à superfície da pedra e independentes da sua estrutura petrográfica. Há uma zona pulverulenta ou arenosa, de espessura variável entre o destaque e o substrato são. Quando caem, arrastam pó.

Esfoliação

Destacamento de lâminas múltiplas da rocha, com espessura da ordem de 1 mm paralelas à superfície da pedra.

Falta, perda, lacuna

Degradação manifestada pela queda e perda de partes da pedra.

Fissuração

Degradação que se manifesta pela quebra de continuidade no corpo da pedra, caracterizado por aparência curta, fina e de desenvolvimento discreto nunca abertas e nunca atingindo os limites do corpo.

Fracturação

Degradação manifestada pelo afastamento recíproco de partes quebradas. A rotura divide o corpo em partes distintas.

Fragmentação

Desintegração da pedra em fragmentos mais ou menos coesos, de dimensões superiores às dos grãos de areia (diâmetro médio > 2 mm).



Fig. 71_Manchas e descoloração das placas de granito devido ao fluxo de água do canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)



Fig. 72_Descoloração, crostas, pátinas e colonizações biológicas na placagem de granito de muro virado a norte, rua interior da Faculdade de Letras, Porto (2018)

Incrustação

Formação de depósitos superficiais gerados sobre a pedra decorrentes quer da transformação das suas propriedades em relação às zonas internas (crostas), quer de acumulação de materiais estranhos à rocha (concreção e pátina). Em geral, estratiforme, compacto e aderente, composto de substâncias inorgânicas ou com estruturas de natureza biológica.

Lascagem

Separação da pedra em lascas com alguns centímetros de espessura, paralelas à superfície da rocha decorrentes da insolação e de fortes variações térmicas.

Mancha, sujidade

Alteração cromática contrastante acidental na superfície da rocha. Decorre, em geral, da presença de materiais estranhos (ferrugem, sais, vernizes, substâncias orgânicas, etc.)

Pátina

Aspecto da rocha após envelhecimento natural. Alteração estritamente limitada às modificações naturais da superfície do material não atribuível a fenómenos de degradação e perceptíveis como uma variação da cor original da pedra.

Pátina biológica

Finíssima camada, homogénea, aderente à superfície da rocha e de natureza biológica evidente e de cor variável, em geral verde devido à constituição por microorganismos.

Película

Estrato superficial com espessura diminuta de substâncias coerentes e estanhas ao substrato pétreo subjacente. Após destaque continua íntegro.

Picamento

Degradação puntiforme de numerosos furos que tendencialmente apresentam forma cilíndrica com diâmetro até poucos milímetros.

Presença de vegetação, colonização biológica

Germinação de espécies vegetais (líquenes, musgos, ervas e arbustos) na superfície da pedra.

Separação em placas

Destacamento de pedaços da pedra em placas de espessura variável.

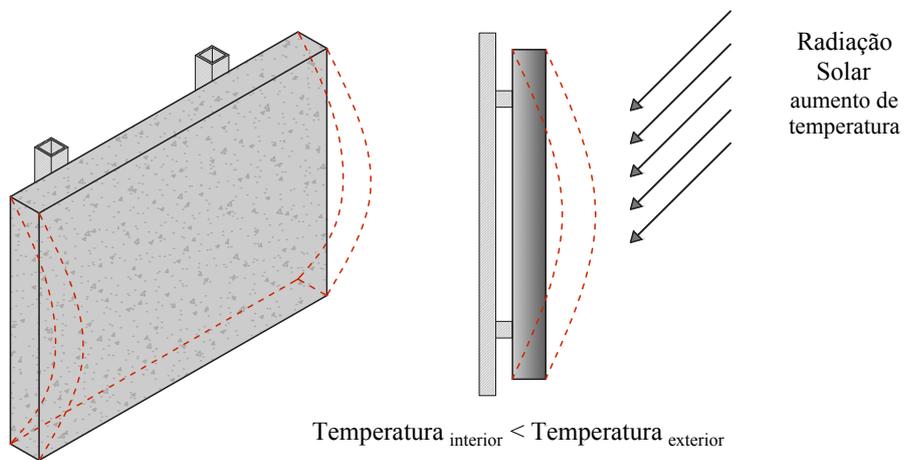


Fig. 73_Esquema do fenómeno da histerese térmica

Cada uma destas anomalias pode desenvolver-se dentro de multitudes de cenários ou então por etapas evolutivas de degradação, porém resultam sempre como produto da resposta que as condições adversas obrigam o elemento pétreo a desenvolver para obter um novo estado de equilíbrio.⁸¹

3.2_Principais alterações

Os esforços combinados das novas tecnologias, da criatividade e da imaginação dos arquitectos, engenheiros e construtores possibilitam os avanços feitos na construção, avanços que conferem novos usos e atributos a toda a espécie de materiais, quer seja o betão, o tijolo, ou mesmo a pedra. Qualquer tentativa criativa carrega consigo a possibilidade de insucesso, todavia isso não deve desencorajar a procura pela inovação e o aprimoramento. Os fracassos, manifestados pelas anomalias, devem ser entendidos como lições que nos orientam e ajudam a evitar problemas e erros similares no futuro, quer seja pela compreensão do material ou das suas técnicas construtivas.⁸² “Aqueles que não conseguem recordar o passado estão condenados a repeti-lo”⁸³. Apesar da extensa lista de anomalias que uma pedra pode apresentar (e da miríade de cenários para a sua formação), criou-se um conjunto de casos de alterações e defeitos que o material pétreo é mais susceptível de apresentar quando os devidos cuidados não são contemplados na fase de projecto e construção. Seguem-se os principais casos que o arquitecto deve acautelar, que pelo facto adicional de não se aplicarem exclusivamente à pedra, ganham uma enorme relevância pela sua ocorrência constante.

81. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, pp. 248-251

82. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, p. 9

83. “Those who cannot remember the past are condemned to repeat it.” in SANTAYANA, George. *The Life of Reason: Introduction and Reason in Common Sense*. MIT Press, 2011, p. 172

84. Fenómeno na qual um sistema conserva as propriedades geradas por um estímulo mesmo depois de terminado.

3.2.1_Histerese térmica

A histerese⁸⁴ térmica é uma alteração permanente que afecta a estrutura externa e interna da pedra consequente da exposição do elemento a variações térmicas. Esta anomalia resulta na deformação das placas de superfície plana em superfície curva nos dois eixos. Com o aumento de temperatura a face exterior da placa expande mais do que a face interior resultando numa curvatura que não rebate depois de a placa arrefecer (Fig. 73) . Por esta razão não é de todo uma surpresa que as fachadas norte (no hemisfério norte) sejam as menos afectadas por esta anomalia. O dano da histerese térmica é principalmente evidente no



Fig. 74_Amoco Building (centro da fotografia), agora Aon Center, é o quarto mais alto da skyline de Chicago, EUA

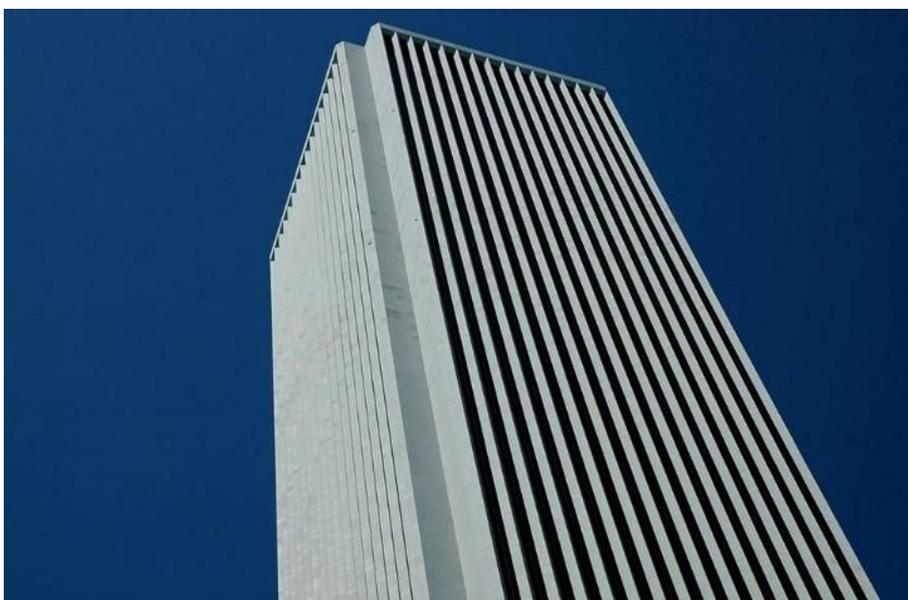


Fig. 75_Pormenor da fachada do Amoco Building



Fig. 76_Investigação dos danos sofridos pela placa-gem de mármore branco de Carrara por parte do laboratório WJE

mármore devido à sua estrutura de cristais de calcite. A anisotropia do mineral leva a que a estrutura reaja internamente de formas diferentes com a propagação do calor, o que significa, quando a pedra aquece os cristais expandem em direcções e quantidades diferentes. A desordem de expansão encaixa os cristais numa nova disposição impedindo-os que regressar à posição original o que resulta na permanente deformação, assim como na adicional capacidade absorviva de água, na perda de resistência à flexão e compressão, e no desenvolvimento de processos de granulação ou desintegração do material. No caso do mármore, apesar de ter sido usado por séculos, dois factores levaram a um desempenho tão anómalo na arquitectura contemporânea: a espessura da pedra e o clima, mais concretamente, os ciclos térmicos.

A necessidade de reduzir a espessura da pedra adveio, só por si, de vários factores. Os arranha-céus do século XX necessitavam de diminuir o peso dos seus revestimentos pétreos a modos de puderem diminuir a quantidade de aço estrutural requerido para os suportar e diminuir o preço total da construção. Esta exigência juntou-se à evolução tecnológica da indústria transformadora da pedra dos anos 60, que não só aumentou a eficácia produtiva com redução de estéreis, mas também reduziu e popularizou o uso de placas de pouca espessura, com cerca de 3 cm. Todavia, esta redução de espessura resultou em fracassos de desempenho por parte do material pois “quando a pedra se torna fina, também se torna fraca”⁸⁵.

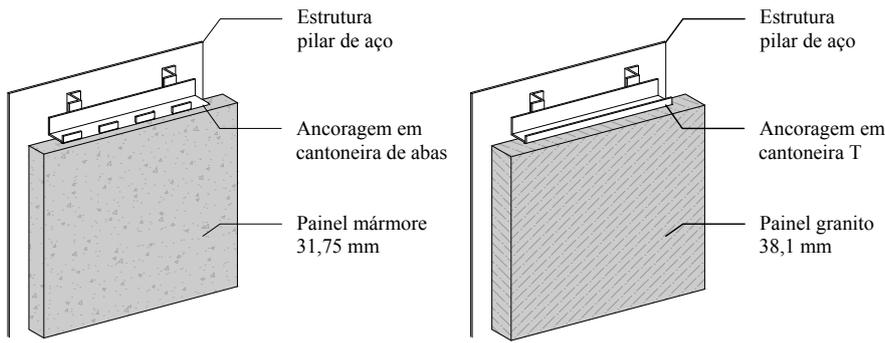
Os ciclos térmicos são dos principais agentes de degradação da pedra alóctone. A incompatibilidade de, por exemplo, materiais de climas meridionais em climas setentrionais é denunciada pela histerese térmica. Quão maior for o diferencial térmico na pedra, maiores os efeitos na placa, principalmente quanto a técnica de utilização da pedra não respeita a sua estrutura, composição e comportamento característico.

Um exemplo disto é o Amoco Building⁸⁶, Chicago, EUA, revestido com mármore branco de Carrara, Itália, pelo requisito do seu arquitecto Edward Durell Stone. Apesar dos testes em 1970 analisarem a resistência à flexão das placas antes e depois de expostas a ciclos térmicos, com resultados mínimos de 9,65 Mpa e 5,79 Mpa respectivamente, a perda de 40% pós-envelhecimento foi descartada e o revestimento da torre avançou. Em 1973 a obra do edifício mais alto do mundo revestido a mármore foi concluída. Em 1985, devido às fracturas e curvatura exibidas pelo revestimento, foram executados

85. “Ironically, these stone panels are protected on the outside by glass, reminding designers that as stone becomes thin, it also becomes weak.” in LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, p. 8

86. Conhecido como Standard Oil e actualmente denominado por Aon Center

Pedra: Matéria, Método e Materialização



Painel de mármore branco de Carrara original

Painel de granito de Georgia substituído

Fig. 77_Comparação das diferenças no sistema construtivo antes e após substituição do mármore branco de Carrara



Fig. 78_Finlandia Hall é caracterizado pelo revestimento de mármore branco venado de Carrara

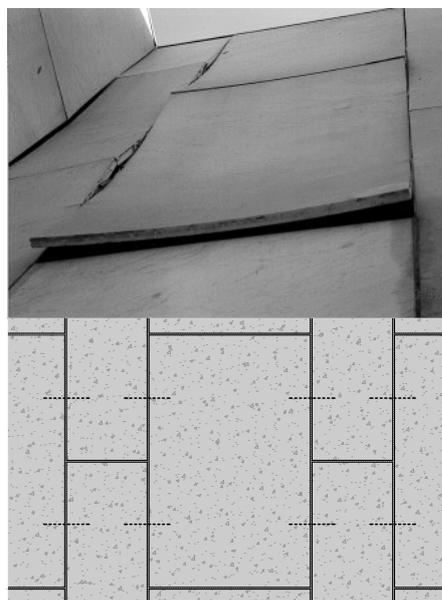


Fig. 79_(esq.) Distorção actual do revestimento do Finlandia Hall. A curvatura pronunciada é lida pelas sombras criadas na fachada

Fig. 80_(dto. topo) Histerese térmica encurvou a placa a ponto de ameaçar arrancá-la das cavilhas de fixação

Fig. 81_(dto. baixo) Esquema do sistema de fixação indirecta (cavilha lateral) usado no Finlandia Hall

novos testes utilizando, não placas de teste, mas placas virgens do carregamento que originalmente revestira a torre. Os resultados foram alarmantes. Os valores médios de resistência eram de 8,65 Mpa, com mínimo em 7,52 Mpa – menos 22% do que fora testado inicialmente. Depois de envelhecidos, a média e o mínimo passaram respectivamente a 3,65 Mpa e 1,17 Mpa – menos 80% do que fora especificado em 1970. Aproximadamente 80% das placas encurvadas encontravam-se na fachada sul e este – a fachada oeste encontrava-se protegido pela sombra de outros arranha-céus. Devido à degradação que não mostrava sinal de parar, apenas acelerar, mesmo que neste caso nunca terem caído, foi realizada a substituição completa das 44 mil placas de mármore por granito de Mount Airy, extraído na Carolina do Norte, com uma secção maior – de 38,1 mm comparativamente aos 31,75 mm iniciais⁸⁷. Esta intervenção aconteceu em 1991, dezoito anos após a conclusão da construção da torre, com um custo estimado de 80 milhões de dólares. O mármore retirado foi transformado em cascalho e seixos para material de redesenho paisagístico ou doado para fabrico de itens em pedra.

Outro exemplo é a Finlândia Hall, Helsinki, Finlândia, construído entre 1967 e 1971, revestido também com placas de 3 cm de mármore branco de Carrara por requisito do arquitecto Alvar Aalto. Neste projecto o sistema de fixação consistia em quatro pinos em oposição às calhas dentadas no Amoco Building. Em Julho de 1991, redes de segurança foram colocadas para proteger os pedestres da potencial queda do revestimento devido à acentuada curvatura que desprendia as placas. Em 1997, realizou-se uma operação de substituição todavia com o mesmo material. Em 2001, a curvatura das novas placas era visível, com notória diferença entre os instalados no outono de 1998 e os da primavera seguinte, possivelmente devido ao inverno rígido de 1998-1999. “A história do revestimento de Finlândia Hall demonstra a lealdade irracional que uma comunidade pode ter por grandes obras de arquitectura”⁸⁸.

Apesar dos efeitos da histerese térmica no mármore branco de Carrara serem testemunhados desde 1920, só em 1970 os perigos foram conhecidos quando placas começaram a cair de várias torres à volta do mundo. O mármore de Carrara é mundialmente conhecido, extraído na cidade de Carrara, na região mais a norte da Toscana, Itália. Apesar da sua fama recente devido às anomalias e fracassos no revestimento em projectos contemporâneo de grande escala, este material já conhece

87. Valores convertidos do Sistema Imperial, 1 ½ inches e 1 ¼ inches respectivamente.

88. “The story of the cladding at Finlândia Hall demonstrates the irrational loyalty a community can have for great works of architecture” in LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, p. 19

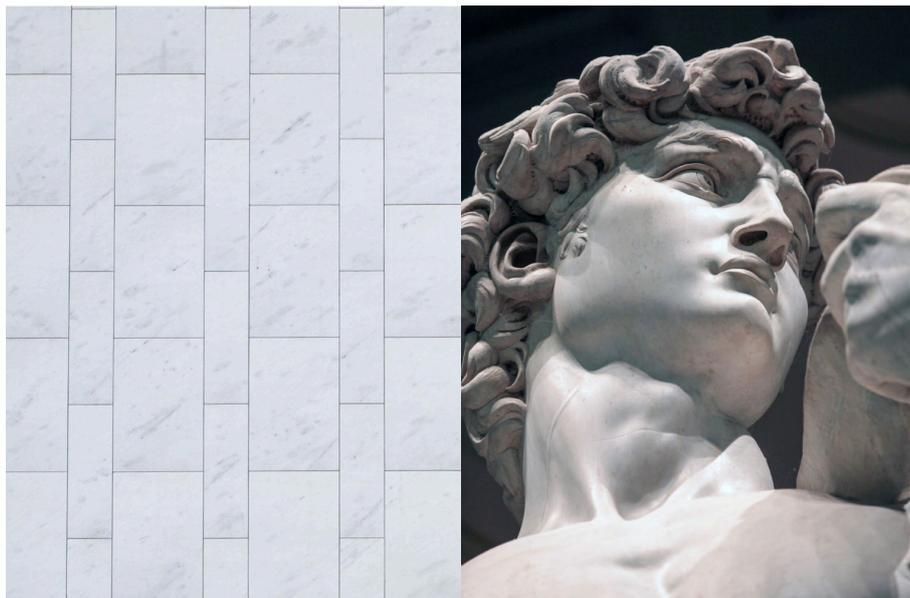


Fig. 82_Comparação entre a textura venada do mármore de Finlândia Hall (vista à distância) e o mármore afanítico de grão fino de David (visto de perto)



Fig. 83_General Motors Building. Um dos poucos edifícios de Manhattan que ocupa a totalidade do quarteirão



Fig. 84_General Motors Building. Vista da praça da fachada em granito

a sua fama desde a Roma Antiga. David, estátua por Michelangelo, foi extraído de um bloco de mármore de Carrara, um bloco com cinco metros de altura, mas que resistiu a histerese térmica durante 300 anos exposto aos elementos, enquanto Finlandia Hall necessitou apenas de 3. A diferença de desempenho decorre de dois motivos: a reduzida variação térmica e a qualidade do mármore. O mármore é autóctone do clima de Florença, onde os invernos não são tão frios como em Helsinki. Já em Finlandia Hall, o mármore possui veios, uma característica proeminente e exigida aquando do segundo revestimento, enquanto o bloco que compõe David é afanítico, o que implica uma maior homogeneidade composicional e estrutural resultando numa peça mais forte e durável do que as peças usadas em Helsinki.

Estes são claros exemplos de como as propriedades da pedra podem variar dentro da mesma espécie, e dentro da mesma pedreira, especialmente em largos projectos, o que torna imperativo testar e conhecer a pedra com que se trabalha no decorrer de todo o projecto e construção. O incidente com o Amoco Building reforça a importância do controlo de qualidade. A compatibilidade da pedra utilizada deve ser assegurada assim como a compreensão dos riscos associados à aplicação de materiais alóctones. Os testes em Amoco foram extensos mas o desejo de usar um material pétreo mediterrâneo foi mais forte do que a perda teórica de 40% da sua resistência. Todavia, para o revestimento a granito, todos os blocos de onde seriam cortadas as placas foram testados e qualquer um que não respeitasse os requisitos mínimos, descartados. A adaptabilidade das técnicas construtivas também exerce um grande papel no sucesso do revestimento e na resistência à histerese térmica. Um edifício de escritórios na cidade de Karjaa, a oeste de Helsinki, foi revestido com mármore branco de Carrara porém não apresenta a mesma curvatura que o Hall. Isso deve-se à técnica construtiva de compósito de pedra e betão. Uma placa de 1 cm de mármore com 3 cm de betão como suporte, onde o mármore foi pré-esforçado e encurvado antes de fixo ao substrato de betão. A placa endireitou quando o betão encolheu com a secagem. Outra técnica similar foi utilizada em 1968 no General Motors Building na cidade de Nova Iorque, pelo mesmo arquitecto do Amoco Building, revestindo-o com sucesso em mármore branco de Georgia⁸⁹. O compósito de 2,2 cm foi conectado a painéis de betão prefabricado e até à data não sofreram os efeitos da histerese térmica. Outras técnicas de compósitos aglutinam finas lâminas de pedra a estruturas secundárias metálicas ou

89. O gosto do arquitecto por mármore mediterrânicos já se manifestava nesta obra antecedente, com o revestimento a mármore branco grego do átrio principal da recepção no piso térreo do edifício.



Fig. 85 Fractura da placa de travertino do espelho do degrau. O impacto na fina placa amparada pelo varão metálico levou à fractura da peça



Fig. 86 Israeli Ministry of Foreign Affairs. Vista noturna, quando a caixa de ónix do átrio de recepção se ilumina



Fig. 87 Vista interior do mezanino de ónix translúcido e do seu sistema de suporte amortecedor de impacto de explosões

de fibra de vidro para obter uma alta resistência à flexão, mesmo depois de ciclos de degelo agressivos.⁹⁰ Estes compósitos serão analisados posteriormente nesta dissertação (ver p. 191).

3.2.2_ Impacto

Material entendido como resistente e eterno, é vulgar encontrar a pedra a fazer o interface entre o espaço público e o edificado, assim como a materializar ambos. Portanto, é lógico, que este material seja solicitado por esforços espontâneos e constantes como impactos e colisões que o desgastem. Não é de todo anormal encontrar placagens finas de pedra lascadas por vandalismo ou colisões acidentais já que a resistência da pedra diminui com a sua espessura, o que torna o revestimento por placagem propício a fender num evento de forte impacto.

As forças de impacto podem ser geradas por diversos agentes, externos ou internos, como tensões superficiais ou internas geradas por dilatações térmicas distintas entre materiais adjacentes, que resultam em fissurações, esfoliações e destacamentos. Solicitações mecânicas estáticas (cargas) ou dinâmicas (choques) são igualmente comuns, todavia a acção do vento ganha protagonismo devido às alturas que os edifícios conquistam actualmente, que promove a deflação⁹¹ dos materiais pétreos.⁹²

Uma das situações mais inusitadas na qual a resistência ao impacto é um elemento central de desenho é uma explosão. A arquitectura de um edifício governamental incorpora altas normas de segurança: preocupa-se em assegurar uma distância de segurança à volta do edifício que permita controlar o acesso e entrada, evitar o colapso progressivo em caso de falência estrutural através de uma estrutura redundante e dúctil (que se deforme antes de romper), e mitigar detritos e a sua projecção. Um material tradicionalmente pouco dúctil como a pedra pode tornar-se impressionante quando combinado com sistemas de suporte secundários. O Israeli Ministry of Foreign Affairs, Jerusalém, 2002, por Diamond Schmitt Architects, materializa estas preocupações com uma beleza inesperada. O edifício possui uma parede de ónix translúcido no seu átrio de recepção que se acende como uma lanterna durante a noite. Esta placagem de apenas 3 cm foi desenhada para resistir à pressão resultante de uma explosão exterior de uma bomba. Apesar de ser previsto que a pedra se fracture com

90. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, pp. 10-21

91. “Erosão eólica provocada pelo transporte de pequenos detritos rochosos pelas correntes aéreas” in *deflação* in Artigos de apoio Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora. Consultado em 18-07-2018. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$deflacao-\(geologia\)](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$deflacao-(geologia))

92. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 248



Fig. 88_Placagem fracturada pelo impacto automóvel (revestimento à frente de um local usado como estacionamento), travessa da Pena, Faculdade de Letras, Porto (2018)



Fig. 89_Fracturação do revestimento do piso de acesso a uma estação de abastecimento de combustível, incapaz de resistir às cargas de um veículo pesado, rua Júlio Dinis, Porto (2018)



Fig. 90_Regenstein Center for African Apes, Lincoln Park Zoo. O ângulo de pedra exposto ao recinto dos gorilas foi devidamente preparado, assim como cortado de blocos sólidos para conferir ao canto mais resistência

o impacto, o sistema de alumínio de suporte absorverá a energia do impacto, evitando o colapso do revestimento e a projecção de detritos para o interior⁹³.

Embora a engenharia deste desenho estenda as capacidades da pedra para além das estimadas, esta preocupação não é de todo comum. As preocupações associadas às fachadas comuns, entre outras funções normalizadas, incluem resistir às acções do vento. À medida que a espessura diminui, e a placa se eleva, a capacidade de resistir-lhes diminui. Este compromisso entre altitude, espessura e segurança ganha relevância devido à possibilidade de quebra e queda do elemento. O detalhe arquitectónico deve auxiliar-se de profissionais que testem e prevejam o comportamento dos elementos pétreos para determinar as dimensões mais apropriadas face à acção do vento, e claro, outros impactos.

A problemática da reduzida espessura é igualmente relevante com placagens e lajeados ao nível térreo onde sofrem impactos por inúmeros agentes (imprevisíveis). A aresta é a zona mais propensa da pedra a danificar-se. A abrasão do uso público encerrar-se-á sempre de a apagar – caso não quebre ou fracture primeiro. Quanto mais definida a aresta, mais difícil será mantê-la. O detalhe arquitectónico deve contemplar os potenciais impactos a nível da rua, desde malas e bengalas, turistas e skatistas. Apesar da temática dos acabamentos ser abordada posteriormente (ver p. 169), a título de exemplo, refere-se que determinados acabamentos de superfície incorporam melhor a degradação do que outros, como o flamejado em comparação com o polido, já que os planos lisos e vítreos denunciam qualquer imperfeição. Todavia, alguns tipos de acabamentos podem enfraquecer a integridade da peça e diminuir a sua resistência à flexão como o areado ou o bujardado.

Desde vandalismo mais primário a bombas, a pedra pode resistir aos esforços solicitados desde que estes tenham sido contemplados no seu desenho e detalhe. Um exemplo que contempla ‘impactos imprevisíveis’ no detalhe construtivo é o Regenstein Center for African Apes, Lincoln Park Zoo, 2004, por PJA Architects, cujo ângulo, exposto aos gorilas, foi fabricado de blocos sólidos e biselados para resistir à lascagem.⁹⁴

93. Existe uma grelha de madeira interior no mezanino adjacente à parede, de corte com o espaço aberto do átrio, que funciona como um sistema secundário para conter qualquer detrito que eventualmente se possa projectar mesmo com todo o sistema principal calculado.

94. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, pp. 22-33

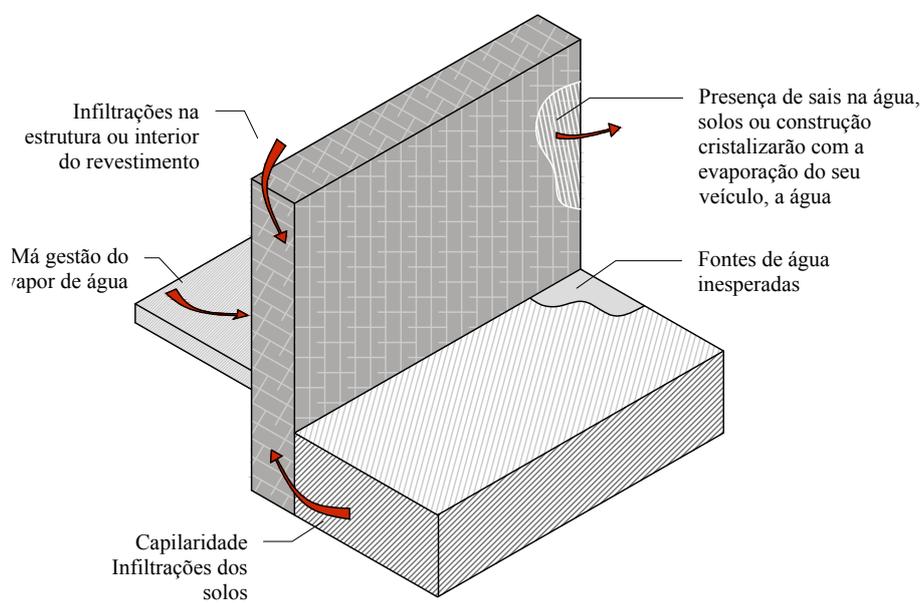


Fig. 91_Esquema da formação de efflorescências

3.2.3_Eflorescência

Uma anomalia que a pedra, tijolo e betão apresentam em comum é a eflorescência. O fenómeno pode ser definido como a deposição cristalina de cor branca que surge em revestimentos (pavimentos, paredes ou tectos) decorrente do transporte e posterior evaporação de soluções aquosas de sais solúveis. A eflorescência pode assumir duas formas: pigmento polvorento que desbota a aparência do material mas é facilmente limpo com produtos designados para a remoção dos sais da superfície afectada; ou um agregado resultante da cristalização dos depósitos de pigmento, originado após vários ciclos de deposição e evaporação, muito mais difícil de remover. A enorme variedade de cenários na qual as eflorescências se desenvolvem apresenta os seguintes factores em comum:

- O movimento de água através da parede para provocar dissolução de compostos salinos. Isto é crítico, pois eflorescências podem, geralmente, ser determinadas por infiltrações no edifícios ou por má gestão do vapor de água no detalhe construtivo. Este movimento de água gera igualmente escorrências, sinal de pobre qualidade construtiva ou de desenho.
- A presença de compostos salinos solúveis na parede ou adjacentes. Estes sais podem estar presentes nas argamassas, nos tijolos, na estrutura de betão interno ou até mesmo no solo e na base da parede, e o detalhe construtivo não contempla essa ligação e transferência de humidade e portanto o movimento de água com sais.
- O percurso da água. As eflorescências são o sinal que a água movimenta-se de tal forma que alcança a superfície da parede, mesmo que transportada pelo interior. As eflorescências surgirão como acne na face de um adolescente, inesperadas mas sinais inegáveis de um desequilíbrio.

Apesar de ser principalmente um defeito visual, é um tipo de anomalia que arrelia construtores e proprietários desde a Roma Antiga. As eflorescências estão principalmente relacionadas com as argamassas usadas na técnica construtiva, daí a anomalia poder ser encontrada em fachadas de betão e pedra, mas ser mais comum nas de tijolo. A anomalia esporádica mancha as superfícies de novas construções porém desaparece depois de um curto período de tempo quando as chuvas lavam os depósitos salinos responsáveis. É importante salientar o



Fig. 92_Eflorescências consequentes da argamassa da alvenaria e da capa do guarda-corpo da escada, assim como manchas nos cobertores próximos

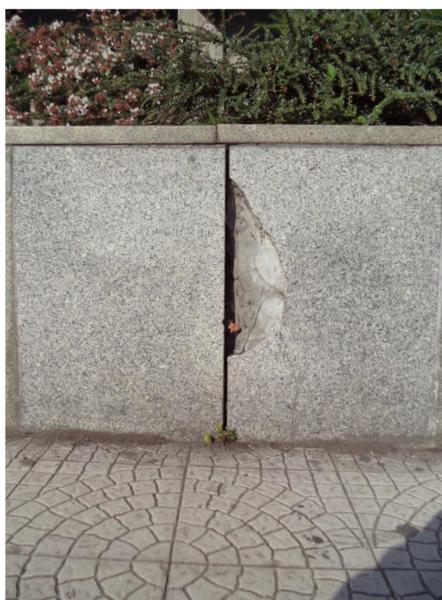


Fig. 93_(esq.) Estado avançado de efflorescências que evoluíram para concreções, sólidos brancos e duros, nas juntas da placagem de granito no muro de canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)

Fig. 94_(dto.) Apesar da substituição das placas, o fluxo de água e sais levou à quebra da placa. Muro de canteiro, Edifício Tranquilidade, rua Júlio Dinis, Porto (2018)

carácter de ‘incubação’ de duração variável (anos, décadas ou séculos) que as anomalias possuem. Apesar de não serem visíveis imediatamente, com o tempo, ‘doenças da pedra’ mais graves manifestar-se-ão. No caso da eflorescência, caso a abundância e movimentação da água não seja tratada, escondida pelas cíclicas ou crescentes eflorescências, os sais poderão consolidar, cristalizar, acumular, e danificar seriamente o invólucro do edifício podendo até ameaçar a estrutura. Quando a cristalização é interna, quer nos materiais ou entre eles, as pressões geradas fracturarão, lascarão, desagregarão e desprenderão os materiais adjacentes e por fim conduzirão a severos problemas estruturais (caso os materiais atacados ou expostos sejam estruturais). Como um tumor, a cristalização pode crescer e atacar a composição interna de camadas da parede, separando-as, ou mesmo consumir os próprios elementos, tudo pelo interior e invisível, até danos graves se revelarem.

Todas as precauções devem ser tomadas em consideração. O detalhe construtivo, a composição volumétrica da obra e a qualidade do procedimento construtivo são ferramentas para impedir este tipo de anomalia. Na construção de paredes exteriores, o seu sistema estrutural interno, se não for protegido, poderá absorver grande quantidade de água (quer das chuvas, da ascensão por capilaridade, ou proximidade a fontes inesperadas) que mais tarde migrará para zonas de menor pressão e provocará eflorescências. Manchas podem surgir na superfície da pedra, caso a fluxo da água seja demasiado abundante e incontrolado.

Ao contrário da histerese térmica, esta anomalia é mais predominante nas fachadas norte (no hemisfério norte) e durante os meses de inverno, pois as baixas temperaturas permitem uma evaporação lenta e uma mais intensa deposição. Os depósitos salinos são principalmente sulfatos e carbonatos. Os mais comuns são os sulfatos de sódio Na_2SO_4 , de potássio K_2SO_4 , de cálcio $CaSO_4$ e de magnésio $MgSO_4$, os carbonatos de sódio Na_2CO_3 e de cálcio $CaCO_3$, o bicarbonato de sódio $NaHCO_3$, e silicato de sódio Na_2SiO_3 . O sulfato de sódio é principalmente preocupante pois expande quando hidratado. O mineral ao mudar entre o estado anidro e hidratado, um ciclo de retracção e expansão ocorre e, dependendo da sua localização na construção, da temperatura e da humidade, pode gerar força suficiente para lascas, fender, descolar e desprender materiais adjacentes, quer seja estuque, tijolo ou mesmo betão.

A limpeza é vital para impedir o desenvolvimento de situações adversas. Todavia, ela também apresenta preocupações próprias. Na



Fig. 95_Auditorium Parco della Musica, vista para Sala Santa Cecilia. O auditório exterior assim como os muros, apresentam manchas, eflorescências e colonizações biológicas (coloração verde)



Fig. 96_Auditorium Parco della Musica, vista para Sala Petrassi. Todos os muros de alvenaria exteriores apresentam manchas e eflorescências enquanto os muros protegidos pela cobertura dos pavilhão apresentam-se relativamente inalterados

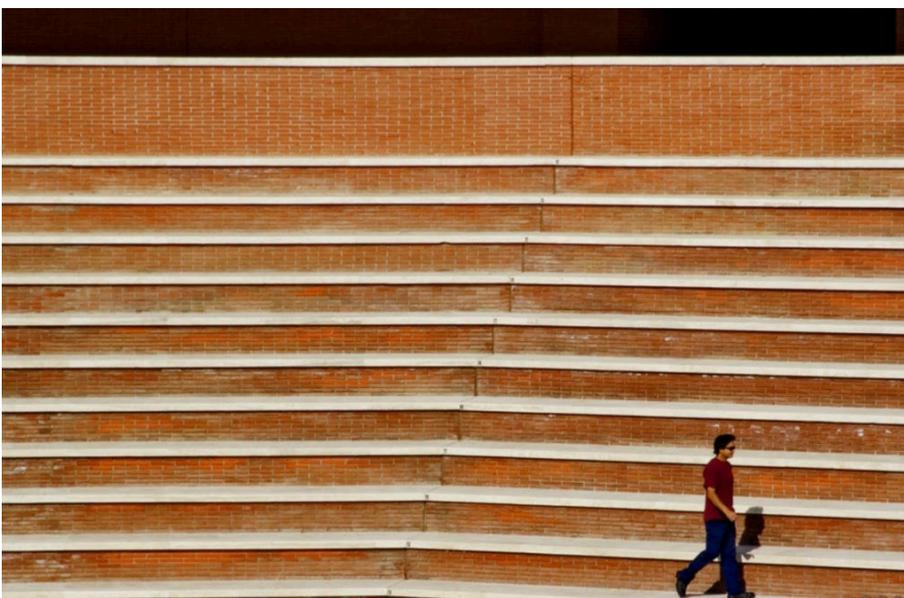


Fig. 97_Pormenor do auditório exterior, tijolo capeado por travertino, onde as manchas brancas, eflorescências, são predominantes

limpeza é crucial não saturar a parede pois tal pode empurrar sais solúveis para os poros do material. A utilização de detergentes de limpeza deve atender às instruções e compatibilidade química, já que alguns contêm cloretos que contribuem para a eflorescência. A selagem das superfícies com repelentes hidrófobos pode revelar-se catastrófica. Por negar a movimentação da solução aquosa salina para o exterior, a água e migrará em forma de vapor abandonando os sais no interior da parede promovendo cristalização interna e as suas consequências nocivas após alguns ciclos invisíveis deste processo.

Conhecer os materiais revela-se cada vez mais a grande ferramenta para o sucesso construtivo e combate de anomalias, por exemplo, no caso das eflorescências, alguns materiais são mais propensos a desenvolver esta anomalia devido à sua porosidade.

O Auditorium Parco della Musica, Roma, 2002, pelo arquitecto Renzo Piano, é um exemplo desta anomalia. Um conjunto de três pavilhões em madeira cobertos por chumbo, similares a escaravelhos, sobre um embasamento de alvenaria de tijolo. Parte desses muros apresentam eflorescências. A possível responsável será a pedra usada para capear o muro e protegê-lo da água da chuva, um travertino que não foi impermeabilizado. Esta pedra sedimentar se não tratada tem uma alta capacidade de absorção impossibilitando-a de selar a estrutura e apenas conduzir a água por efeito de capilaridade para o interior da alvenaria de tijolo. As restantes paredes de tijolo exteriores não apresentam eflorescência pois estão protegidos da chuva por outros elementos arquitectónicos em projecção.⁹⁵

Um dos mais clássicos e fascinantes exemplos da batalha entre construtores, arquitectos e engenheiros contra a água é Veneza. As vicissitudes da história levaram os venezianos a procurar refúgio nos inóspitos pântanos para fugir aos invasores. Ergueram uma cidade sobre água graças a um sistema construtivo engenhoso de incontáveis pilares de madeira cravados no solo argiloso até atingirem solo rochoso. O solo argiloso isolou a madeira da água e do oxigénio – e negou a deterioração levada a cabo por organismo aeróbicos – fossilizando-os com o tempo. Sobre eles foi assente uma dupla camada de tábuas de madeira que nivela o chão e distribui o peso dos edifícios. Sobre este estrado foram colocadas várias camadas de pedra de Ístria, uma pedra compacta e resistente à água que protege contra as infiltrações. A pedra actua como uma cinta de impermeabilização do edifício. O resto da construção é constituída principalmente por tijolo. A praça de

95. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, pp. 34-38 e 42-47



Fig. 98_Canal de Veneza. As marcas de eflorescências e cristalização do sal são evidentes nas paredes de tijolo (descoloração branca) tal como a marca da água acima da pedra (humidade acima da descoloração verde da pedra)



Fig. 99_Pormenor da coluna fissurada no nártex da Basílica de São Marcos, Veneza, Itália



Fig. 100_Pormenor da textura da base de mármore rosa da coluna, dissolvido pelos ciclos de cristalização do sal e da acqua alta, nártex da Basílica de São Marcos, Veneza, Itália

São Marcos está apenas a 74 centímetros acima do nível médio das águas do mar, o que permite que seja alagada 130 vezes ao ano. O sal e a água devoram as pedras da igreja de São Marcos, onde os mármore se dissolvem devido à cristalização salina e ciclos de evaporação. Os mosaicos que decoram as abóbadas também se destacam sendo alvo de constante intervenção, tudo devido à cristalização salina. As paredes de tijolo que constroem a maioria da cidade estão em perigo de colapso pelo mesmo motivo. A *acqua alta* (súbita subida do nível do mar atribuída ao aquecimento global) ultrapassa a cinta de pedra de Ístria e ataca o tijolo que é bastante poroso – cerca de 30%, ou seja num simples tijolo, trinta por cento dele são buracos e vazios. Os tijolos empalidecem, saturados de sal, e as pressões de cristalização ameaçam a sua desintegração. A cidade é também vítima da degradação por impacto. Os canais estão lotados com o constante tráfego de barcos a motor que danificam a cidade a um ritmo alarmante. A contracorrente gerada pelas hélices demasiado poderosas origina um movimento de ondulação constante que perpetuamente embate contra a cidade e as suas fundações promovendo a sua degradação. Não só a pedra sofre. Os elementos de metal ferroso, como os esteios usados no interior de colunas, sofrem o ataque da água que se infiltra, oxida o metal, obriga-o a expandir e fracturar os elementos pétreos envolventes, rematando tudo com ameaças de colapso estrutural. Imensas iniciativas concebidas em laboratório avançam para tentar salvar a cidade, já que a mudança paradigmática do estilo de vida tornou as técnicas que erguem e suportam a cidade, ineficientes.⁹⁶ Toda a cidade é um caso singular do combate pela durabilidade da arquitectura contra o principal elemento de degradação, a água.

3.2.4_Irregularidades Superficiais

O aspecto estético do produto acabado é uma das características determinantes na escolha da pedra ornamental. Quer seja a cor, o padrão da matriz, a homogeneidade ou heterogeneidade textural e a própria possibilidade de combinação de cores ou texturas, são factores que determinam o valor e potencial estético do elemento pétreo.⁹⁷ Como material natural, a pedra apresenta inerentes falhas e variações de textura e composição. Torna-se compreensível a presença de irregularidades, orifícios, e manchas de diversas formas e cores quando se depreende a complexidade dos processos de litogénese. Apesar de se considerarem

96. MARLIER, Thomas (Autoria) e THIRIAT, Laurence (Realização). *Venice: The Technological Challenge Through the Ages* [Documentário]. France: CPB – Compagnie des Phares et Balises, 2018, 52 min., Tradução e Legendagem por SANTOS, Miguel.

97. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 39

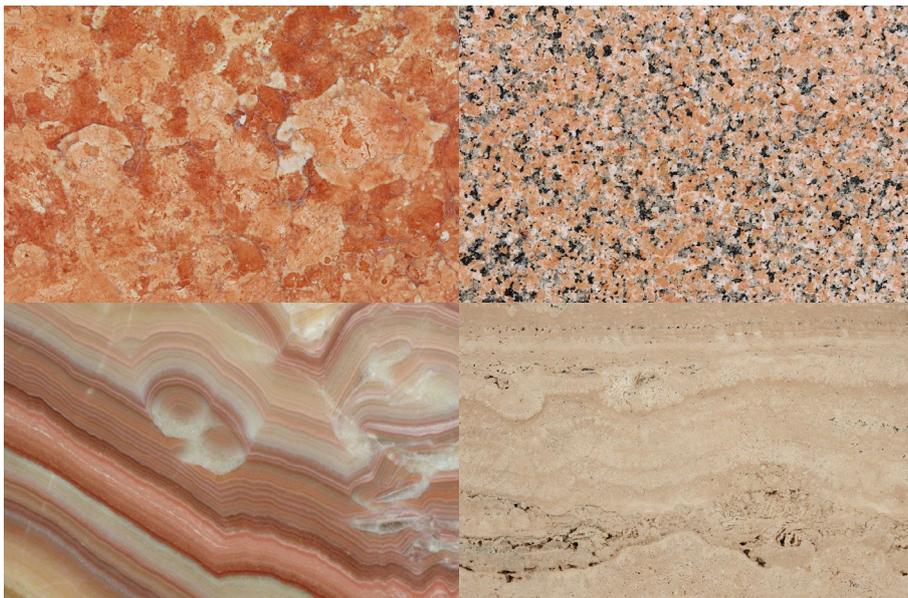


Fig. 101_Conjunto de pedras que apresentam, dentro da mesma tonalidade, diferentes texturas, com cuidados específicos e próprios para criar padrões harmônicos. De esquerda para a direita, calcário Vidraço de Pedra Furada (Encarnação), granito Rosa Monforte, ónix arco-íris e travertino moca creme



Fig. 102_Casa na Maia 2, Eduardo Souto de Moura, entrada. Exemplo de um cuidadoso casamento do mármore que criou um padrão harmonioso contínuo, apesar de composto por elementos discretos



Fig. 103_Seleção inadequada de placagem (placa inferior apresenta uma tonalidade distinta das restantes, Praça D. João I, Porto (2018))

uma anomalia, pelo contraste com um padrão, textura ou aparência dominante, as irregularidades superficiais são características específicas intrínsecas de cada pedra e é a sua gestão incorrecta que compromete o seu valor estético. As irregularidades superficiais podem ser apanágio da pedra, como os orifícios nos travertinos, os veios nos mármore, os fósseis e veios cristalinos nos calcários ou impregnações de óxidos de ferro nos granitos amarelos⁹⁸. O tipo mais comum de irregularidade são os xenólitos ou matérias extrínsecas à matriz principal da rocha. Estas inclusões incluem uma vasta variedade de composições químicas, desde minérios metálicos, conchas e fósseis, veios de outros minerais, etc.

Esta anomalia intrínseca ao material lítico deve ser gerida com cautela pois num rácio demasiado elevado comprometerá a integridade da imagem ou padrão que originalmente não contemplava estas inclusões, tornando o material inapto para o uso. Esta preocupação estética é especialmente crucial, e deve ser sempre considerada, no desenho e instalação de pedra venada. Um uso descuidado invocará um defeito visual indesejado pela quebra ou perturbação do padrão geral intencionado, tão evidente como um dente lascado num sorriso. Os veios podem ser causados por diversas razões, quer sejam decorrentes da presença de impurezas, da foliação ou da presença de elementos acessórios durante a litogénese gerando tonalidades distintas dentro da matriz original. Óxidos de ferros, por regra, fazem os rosados, amarelos, castanhos e vermelhos, enquanto a maioria dos cinzentos, azulados ou veios negros advêm de substâncias betuminosas.

Outras irregularidades naturais encontradas na pedra são provocadas por técnicas negligentes de transformação ou extracção, nomeadamente, as fissuras e rachaduras. Estas irregularidades podem permanecer ocultas, microscópicas, até que uma força de impacto ou pressões de cristalização contribuam para a sua expansão e então surjam a nível macroscópico. Para corrigir estas irregularidades é frequente o uso de resinas que conferem às pedras uma superfície mais lisa que preenche as lacunas do material, assim como sela a sua porosidade. Estas resinas são tipicamente instáveis em ambientes expostos à radiação ultravioleta, assim como a sua compatibilidade química nem sempre é testada para a pedra ou utilizações designadas, como por exemplo para superfícies de preparação e consumo de alimentos. As resinas devem ser devidamente estudadas, quando não seja possível evitá-las, pois a incompatibilidade e má aplicação delas conduzirão à

98. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 40

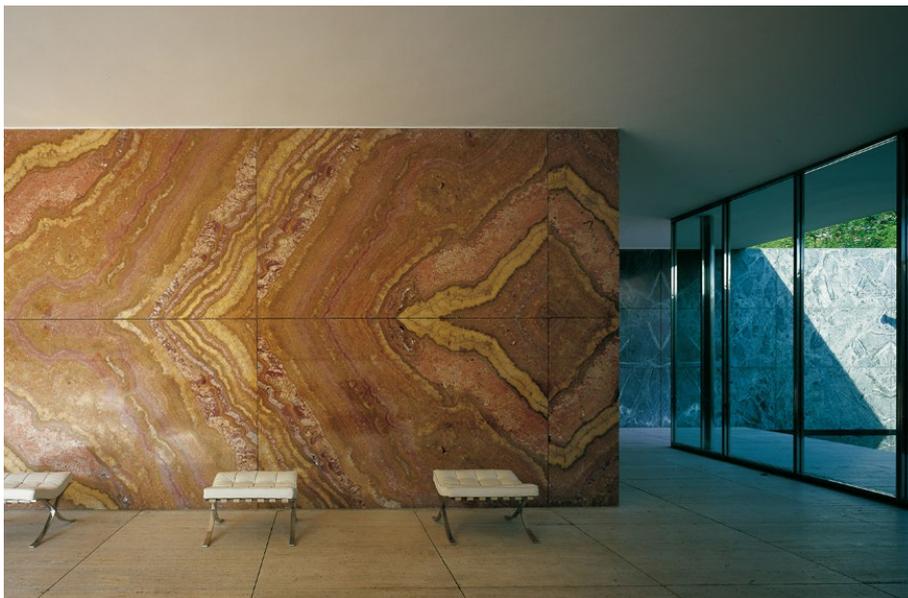


Fig. 104_Pavilhão de Barcelona, Mies van der Rohe, parede de ónix. A obra constitui um dos exemplos incontroláveis da mestria de manipulação textural, cromática e material das espécies pétreas



Fig. 105_Pavilhão de Barcelona, Mies van der Rohe, parede de travertino



Fig. 106_Instalação Mies Missing Materiality demonstra o quanto esta obra de arquitetura vive da materialidade pétreia e da sua influência no espaço

descoloração sobre acção de radiação UV e apresentarão dificuldades de manutenção em situações de renovação do polimento.

Apenas maquetes ou modelos que recriem o efeito final da fachada nos informam das limitações e potencialidades da qualidade superficial da pedra. Só ao visualizar o padrão produzido pelas veias e xenólitos, cor e tonalidades, foliação e orifícios, é que poderão ser feitas as devidas consideração em relação à montagem e à manutenção.

A pedra, como material natural, compreende em si imperfeições e inclusões que os projectistas devem entender como características específicas estéticas e físicas que condicionam o modo de aplicação. O jogo correcto de cores, padrões e irregularidades gerará uma fachada esteticamente agradável. A gestão correcta das particularidades de cada pedra evitará os desequilíbrios indesejáveis e problemáticos face à intenção original do arquitecto.⁹⁹

Sem dúvida, o Pavilhão Alemão, projectado por Ludwig Mies van der Rohe, para a Feira Mundial de 1929 em Barcelona é um dos exemplos mais belos e cativantes do poder sedutor das linhas e cores que as pedras podem oferecer. Os planos minimalistas conjugados num acutilante exercício de arquitectura moderna materializado pela nobreza de pedras venadas e porosas, cujo rigor geométrico, a precisão dos elementos e a claridade da montagem do mármore, ónix e travertino, exaltam a estética e materialidade pétreas assim como a potencialidade da própria arquitectura como organizadora do espaço, em parte, graças à correcta conjugação e casamento dos padrões venados e rústicos das pedras utilizadas. O exercício fora tão marcante que apesar da demolição do pavilhão em 1930, foi reconstruído entre 1983 e 1986^{100, 101}.

3.2.5_Corrosão

A corrosão metálica é um processo químico de “desgaste de um corpo metálico causado por acção de agentes oxidantes”¹⁰² que promove processos de descoloração (manchas de ferrugem), deterioração das estruturas envolventes e desprendimento do material de revestimento – cujo perigo aumenta exponencialmente consoante a altura do edifício e as dimensões e peso das peças. Apesar de as pedras não serem alvo directo deste fenómeno – retirando os casos da existência de minerais ferrosos que podem levar a danos visíveis similares à cristalização salina interna na pedra caso ocorra expansão dos óxidos metálicos – esta anomalia é substancialmente perigosa por atacar os sistemas de suporte

99. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, pp. 48, 65-66 e 69

100. Entre 16 e 27 de Novembro de 2017, o Pavilhão foi alvo de uma intervenção artística pelos arquitectos Anna e Eugeni Bach intitulada de “Mies Missing Materiality”. Todas as superfícies foram revestidas de vinil branco, ocultando a materialidade icónica da obra, durante um processo de oito dias, exposto para o público. A intervenção foi um óptimo exemplo e exercício do impacto e do papel dos materiais na arquitectura. In Fundació Mies van der Rohe. *Anna & Eugeni Bach. mies missing materiality*. Consultado em 23-07-2018. Disponível em: <http://miesbcn.com/project/mies-missing-materiality/>

101. Chambers Architects. *Mies Van der Rohe: 1929 Barcelona Pavilion*. Consultado em 23-07-2018. Disponível em: <http://chambersarchitects.com/blog/mies-van-de-rohe-1929-barcelona-pavilion/>

102. *corrosão* in Dicionário Infopédia da Língua Portuguesa [em linha]. Porto: Porto Editora. Consultado em 03-07-2018. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/corrosao>



Fig. 107_Descoloração provocada por manchas de ferrugem, provenientes das ferragens no canteiro, rua Dom Manuel II, Porto (2018)

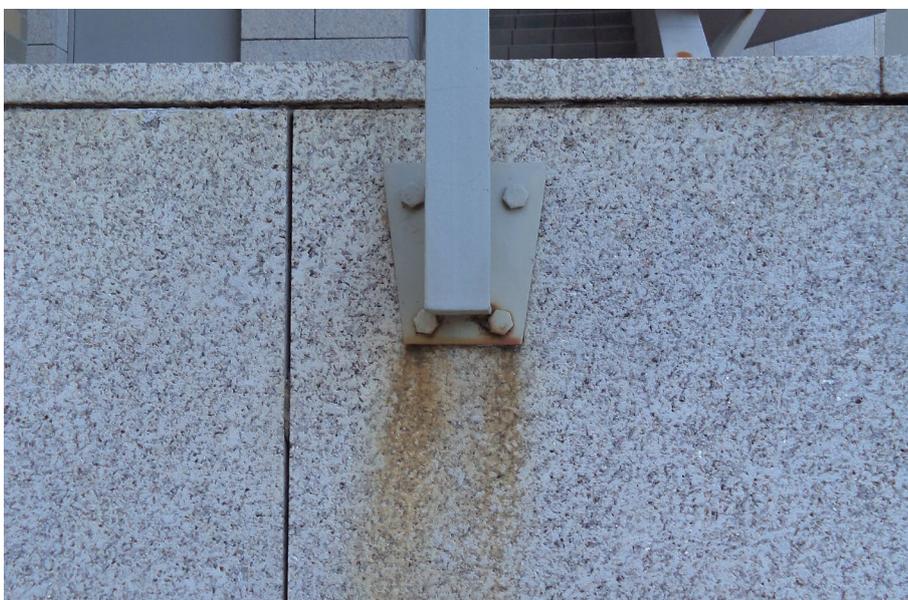


Fig. 108_Manchas de ferrugem pela corrosão dos parafusos metálicas do guarda-corpos, travessa da Pena, Faculdade de Letras, Porto (2018)



Fig. 109_Dissolução da estátua de George Washington devido à acção de chuvas ácidas. A calcite presente nos calcários e mármoreos reage com o ácido sulfúrico das chuvas ácidas para produzir sulfato de cálcio, solúvel em água, e assim deteiorizando os elementos pétreos

e fixação das peças. Os materiais devem ser seleccionados consoante a sua compatibilidade com o clima e meio do edifício para serem inertes tais como aço inoxidável, metais cromados ou galvanizados, ligas metálicas não ferrosas, ou plásticos de alto desempenho, actualmente normalizados para os sistemas de fixação.

Apesar de contemplado nos sistemas de fixação existentes, é necessário compreender que fenómenos químicos inesperados podem ocorrer tal como a corrosão galvânica devido à proximidade de metais dissimilares com diferente potencial eléctrico. Na presença de um electrólito, como a humidade, a reacção electroquímica é promovida e as peças consideradas “seguradas” podem oxidar. Estes pormenores devem, mais uma vez, ser abordados durante a fase de projecto, através do detalhe construtivo e conselho de um especialista, e acautelar a situação ao isolar electricamente os metais dissimilares.¹⁰³

Outro género de corrosão desenvolve-se, em especial em ambientes urbanos ou industriais. A denominada corrosão química, promovida por ácidos derivados de compostos sulfurosos ou por amoníaco de origem industrial ou agrícola, provoca um espectro variado de reacções químicas que comprometem o desempenho e aparência da pedra. Um dos seus agentes mais comuns é a chuva ácida. É também possível que, após colonização biológica, ocorra corrosão metabólica ácida por parte dos líquenes que atacam os carbonatos presentes na pedra. Esta corrosão apresenta os mesmos sintomas que corrosão metálica, como descoloração, lixiviação¹⁰⁴ e desintegração do material pétreo.¹⁰⁵

3.2.6_Descoloração

Esta anomalia, principalmente estética numa primeira instância, é uma consequência comum a diversos fenómenos químicos de degradação. É das anomalias mais imediatas e primárias. O próprio processo de acabamento da superfície pétreo alterará a sua cor. As distintas tonalidades obtidas com a mesma pedra, por acabamentos distintos, como flamejada e polida, são sinal evidente do material como um sistema químico que reage ao seu meio e a potencial alteração cromática subjacente. A multitudine de composições químicas das rochas origina a mesma vastidão na gama de reacções química que pode desencadear, tal como referido. Os produtos destas reacções, em geral, manchas, pátinas ou crostas, maculam a aparência da pedra. As

103. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, pp. 92-94

104. Extracção ou dissolução de constituintes químicos de uma rocha, mineral, solo, entre outros, pela acção de um fluido como a água.

105. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 248



Fig. 110_Descoloração de efeito moldura nas placas de granito (limite superior e inferior), assim como descoloração de ferrugem (zona inferior esquerda), Torre H, Faculdade de Arquitectura, Porto (2018)

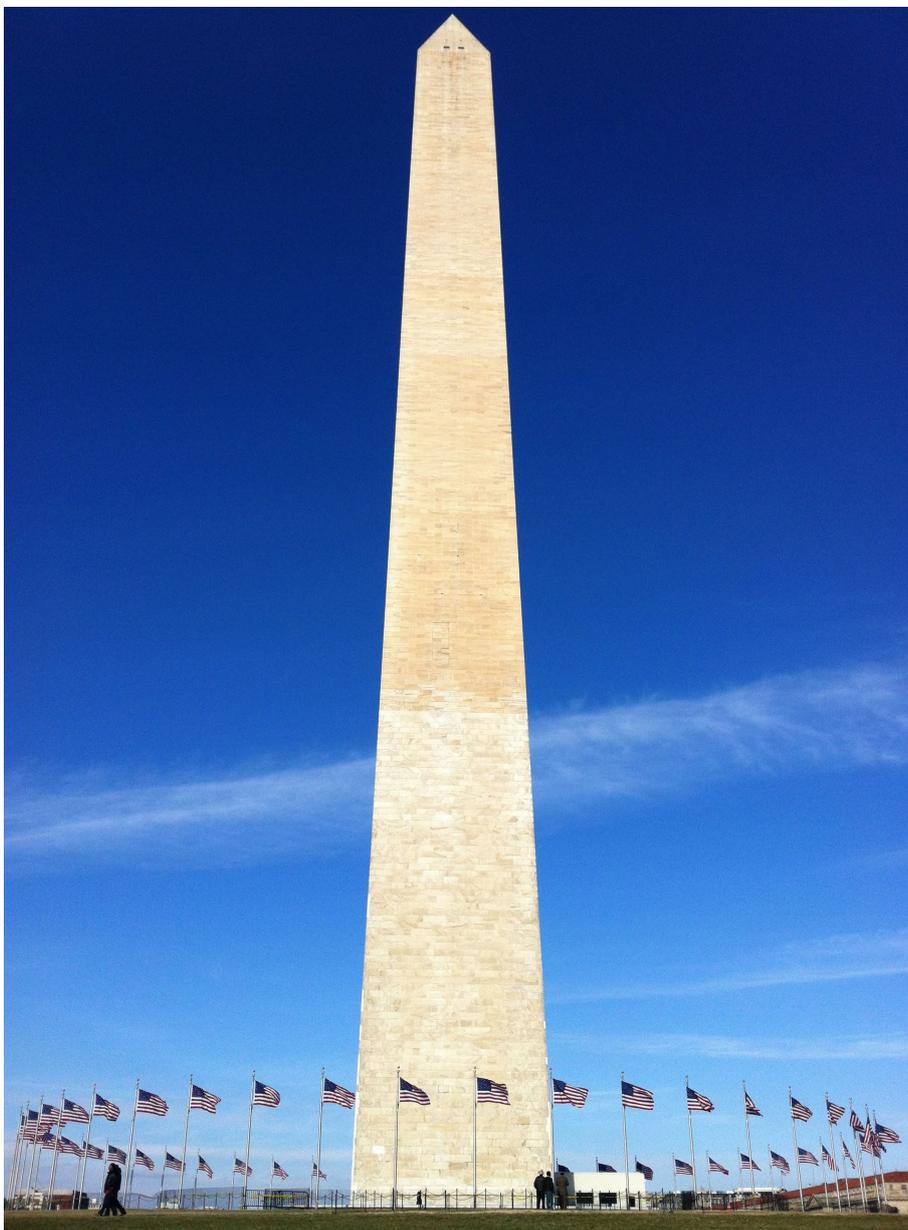


Fig. 111_Obelisco do Washington Monument. A diferença em coloração é subtil mas inegável (linha superior da nuvem marca as fases de construção e a diferença de coloração)

crostas negras são uma das manifestações mais evidentes da poluição atmosférica que provocam o enegrecimento progressivo das superfícies pétreas situadas em ambientes urbanos e industrializados¹⁰⁶. A descoloração poderá também ocorrer através de fenómenos biológicos, como a colonização biológica de líquenes, algas ou musgos consoante o meio ambiente envolvente.

As manchas indesejadas que alteram a cor da pedra podem, por vezes, ser permanentes. Geralmente sob a forma de um escurecimento da tonalidade da pedra, só serão corrigidas com a substituição da peça. A descoloração da pedra natural pode ser evitada ao protegê-la de agentes agressores como produtos de construção ou químicos. Estes produtos podem lixiviar e descolorar permanentemente a pedra criando um efeito de moldura perimetral na peça ou provocar eflorescências. Um dos agentes mais agressivos e prejudiciais é, sem grande surpresa, a água. Como analisado nos tópicos anteriores, a água desempenha um enorme papel no desenvolvimento das anomalias e na deterioração dos edifícios. Por essa razão, o detalhe construtivo é a primeira ferramenta de prevenção de descoloração, tal como em outras anomalias.

Apesar de entendida como uma anomalia pejorativa, a variação de cor pode ser desejável ou planeada, como por exemplo com o cobre ou aço corten, mas o seu uso adequado implica a gestão de todo o processo de descoloração. O projectista deve possuir uma clara compreensão dos limites e características da pedra, ou qualquer outro material, antes e após a sua alteração.¹⁰⁷

O Washington Monument, Washington D.C., é um exemplo do carácter mutável da pedra natural. A sua construção iniciou-se em 1836 mas foi suspensa durante a Guerra Civil. Quando as obras retomaram vinte e três anos depois, em 1877, a demarcação entre paragem e recomeço da obra era visível. A descoloração marcava estratos no obelisco. A diferença pode ser atribuída à mudança de localização da pedreira que fornecia a obra ou então ao envelhecimento desenvolvido na pedra durante a suspensão da obra.

Como iterado várias vezes, a água é um dos agentes mais agressivos na deterioração dos edifícios. A descoloração é uma das consequências comuns e imediatas das várias alterações anómalas provocadas por ela. Quer as escorrências, quer as eflorescências, que em geral acompanham uma obra, são antes de mais processos de descoloração das superfícies das fachadas. O fluxo constante e incontrolado de água potenciará o surgimento de manchas e o

106. BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 233

107. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, p. 70



Fig. 112_Descoloração por graffiti, vandalismo, Faculdade de Arquitectura, Porto (2018)



Fig. 113_Bregenz Museum



Fig. 114_Bregenz Museum. O revestimento vítreo, para além de ser uma estratégia de defesa contra o graffiti, possui valências estéticas, como tornar o edifício numa caixa de luz.

depósito de sujidade. Nestas situações, o principal culpado é o desenho arquitectónico que propicia gotejamento e escorrência pela superfície da fachada e não pelos devidos canais de escoamento. A acumulação de água em superfícies horizontais também originará descoloração caso a pedra possua alta absorvidade, como por exemplo uma bancada de cozinha em pedra permeável. É de salientar e iterar que os produtos de impermeabilização destas peças devem ser igual e devidamente testados.

Em meio urbano o vandalismo com *graffiti* é outro processo de descoloração. Algumas estratégias de combate incluem camadas protectoras quer sob a forma de painéis com expressão no alçado quer sob a forma de resinas transparentes protectoras. O sistema usado no Bregenz Art Museum, Austria, 1997, projectado por Peter Zumthor, são painéis de vidro. O vidro, como material menos poroso que a pedra ou o betão, facilita a limpeza e combate a esta forma de vandalismo. Para além de um sistema protector, este invólucro translúcido que cobre a estrutura de betão interna possui valor estético e caracteriza o edifício. Outra estratégia será conformar-se com inevitabilidade do vandalismo e desenvolver uma fachada composta por módulos de fácil substituição onde os custos de manutenção, em vez de limpeza, assumem a forma de custos de substituição dos elementos.¹⁰⁸

Com um entendimento abrangente das características que conferem à matéria-prima da pedra a capacidade de ser elevada a material de construção, com todas as suas subtilezas, exigências, doenças e compromissos, é pertinente compreender a evolução do seu papel na arquitectura e construção, já que esta matéria é uma das pedras basilares ou pedras angulares na qual essas disciplinas evoluíram e impulsionaram o progresso humano. Os trocadilhos frívolos presentes são exposição da simples forma como este material se entranhou na nossa linguagem, na nossa sociedade e nas nossas vidas devido ao seu impacto e presença inalterável ao longo dos séculos. Mas se, fundamentalmente, a pedra se manteve a mesma durante séculos, como pode ter ela potenciado a evolução construtiva, arquitectónica, social e humana? O material não mudou, apenas o modo como o montámos: o método de como o utilizamos nunca se esgotou.

108. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, pp. 82-91

Pedra: Matéria, Método e Materialização



Capítulo 2

Método

Perspectiva Histórica	101
Ciclo de Vida	161
Tendências e Evolução	191



Fig. 115 Citânia de Briteiros. A cultura castreja do noroeste da península ibérica, pré-romana, é testemunho da utilização da pedra numa das formas mais simples, amontoada em formas circulares, já que as técnicas de travamento de muros em ângulos rectos eram-lhes desconhecidas



Fig. 116 Pedra formosa do balneário da Citânia de Briteiros. A minúcia de talhe da pedra evidencia a importância cultural do objecto e da obra, a perícia da cultura castreja e os valores estéticos e simbólicos culturais

Capítulo 2_Método

1_Perspectiva Histórica

1.1_Primeiros Pedreiros

O acto de construir é um elemento intrínseco à civilização humana, intimamente ligado às necessidades que nos são impostas pelo clima, pelo meio ambiente, pelas vicissitudes do ser humano. Reunimos, manipulamos e erguemos materiais que constituem barreiras contra as intempéries, contra os inimigos, contra o próprio tempo, para sobreviver, para proteger, para armazenar provisões. O acto construtivo numa região é tão mais contido quão mais as condições climatéricas forem ao encontro com o conforto humano. Quão mais adverso for o meio, maior será a diferença necessária entre exterior e interior para suportar vida, logo maior será a técnica construtiva desenvolvida para satisfazer tal necessidade. O acto construtivo procura, na sua raiz, materializar um abrigo, quer artificial, quer natural.

Ao longo da história a materialização de abrigos pelo ser humano marcou a sua presença no território. Estes abrigos incluem buracos e acidentes na topografia, grutas e fendas nas rochas, vegetações densas ou ocas. A manipulação destes acasos pelo ser humano, meras folhas a ocultar a entrada, barricadas de amontoados de calhaus ou pontos de fogo, constituiu um dos primeiros actos construtivos ao tornar os espaços progressivamente mais conducente à sobrevivência. Quando o humano transitou da vida nómada para a sedentária, as pessoas começaram a erguer os seus próprios abrigos e desenvolver técnicas construtivas adequadas aos materiais disponíveis. Muros e paredes nasceram. Pela primeira vez, a protecção maciça e espessa pétreo das grutas ou a massa de terra compacta dos buracos tornaram-se em finas paredes de pedra, criando um espaço mais humano. À medida que o ser humano assentou e estabilizou ao satisfazer as suas primeiras necessidades básicas de sobrevivência, permitiu-se desejar mais e procurar satisfazer necessidades secundárias, aumentando técnicas e saberes, inclusive as técnicas construtivas que sempre progrediram consoante os intentos do ser humano. A parede-muro será sempre mais do que uma simples estrutura que conduz as cargas das coberturas suspensas verticalmente para o solo, pois o seu paramento, a sua superfície exterior, carrega um poder comunicativo do estatuto e da hierarquia tal como o fizeram as superfícies interiores das cavernas adornadas com pinturas rupestres.



Fig. 117_Stonehenge, vista para o altar cuja incidência de luz funcionaria como um calendário solar

A demarcação entre interior e exterior, entre público e privado, é mais do que uma ferramenta de abrigo, mais do que a materialização de uma resposta às necessidades, é também uma construtora de estrutura social, de valores e poderes. A construção é uma instituição humana.¹⁰⁹

As circunstâncias do local, a sociedade, a história, a etnografia, a cosmovisão, as vicissitudes cíclicas do clima, a predominância e facilidade da obtenção dos materiais locais, entre outros, são todos factores que conduziram a uma ideia de ‘como construir’ própria e única a cada pólo populacional. Portanto, as características que definem a construção do edifício, a sua imagem e a sua secção, são informativos da sua função e das expectativas inerentes. A construção comunica. O acto construtivo, que ultrapassou o básico erguer do abrigo, é a constatação de uma época, a materialização de uma intenção, a resposta a um ideal, é uma cápsula do tempo.¹¹⁰ Devido à riqueza e complexidade do tema, apresenta-se uma abordagem sucinta dos focos da evolução da ideia de ‘como construir’ com pedra.

A pedra acompanha-nos desde os primeiros momentos em que tal acto se iniciou. Pela sua relutância face ao tempo, pela astúcia da sua manipulação e pelo favor das circunstâncias, ela trouxe-nos o que outros materiais perecíveis não conseguiram, realizando a sua potencialidade como cápsula do tempo, ao materializar obras provenientes dos vários milénios da história da arquitectura. A Idade da Pedra pode ser considerada a primeira época cultural relevante pois é quando os humanos usaram os materiais naturais disponíveis, nomeadamente os pétreos, para produzir objectos de culto, de trabalho e do quotidiano, desde armas de caça ou guerra, paredes e tumbas de celebração da vida humana, e artefactos preciosos, quer de culto ou adorno.

Stonehenge, circa 2900 a 1400 a.C., representa o culminar da técnica construtiva, assim como da compreensão cíclica astronómica, da pré-história. Pelo recurso a simples ferramentas, como a alavanca e o plano inclinado, e à experiência de elevação das tombas megalíticas, os habitantes pré-históricos da Grã-Bretanha materializaram um dos observatórios astronómicos mais icónicos da actualidade.¹¹¹

O desenvolvimento da construção em pedra manifesta-se na evolução da alvenaria¹¹² e da cantaria¹¹³. Embora permaneça um mistério quais foram as primeiras amontoações intencionais de pedra, é seguro deduzir que foram o produto das circunstâncias da sua envolvente. A abundância da matéria ou o seu melhor desempenho levaram os primeiros pedreiros a adicionar muros e paredes de pedra

109. HERZOG, Thomas. *Facade construction manual*. Basel Birkhauser, 2004, p. 9

110. Idem, p. 12

111. MOFFETT, Marian; FAZIO, Michael e WODEHOUSE, Lawrence. *A world history of architecture*. London: Laurence King, 2003, p. 13

112. Conjunto de pedras, tijolos ou outros materiais, que podem ser ligados por argamassas ou cimentos, para construir uma estrutura autoportante como paredes ou muros.

113. Pedra lavrada em formatos geométricos rigorosos ou a técnica de talhe que produz esse tipo de produto



Fig. 118_Menir de Champ Dolent, França



Fig. 119_Pedra sagrada BenBen representativa do deus Atum para capear a Pirâmide de Amenemhet III, Dahshur. Atum, segundo o mito, terá escolhido assumir forma piramidal para residir dentro de tal estrutura de pedra

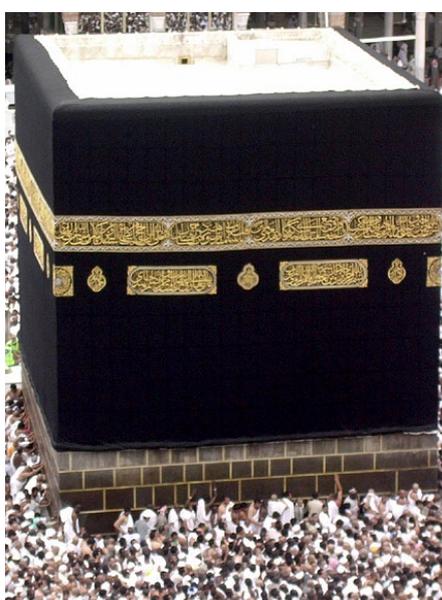


Fig. 120_(esq.) Onfalo de Delfos. Considerado o centro do universo, o “umbigo do universo” por ser o interface entre o mundo dos humanos e o mundo dos deuses

Fig. 121_(dto.) Ka'aba de Mecca. É possível ver a alvenaria de granito por baixo do manto que cobre um dos lugares mais sagrados pelos islâmicos pois nela está incrustada a Hajar el Aswad, Pedra Negra, uma relíquia sagrada do Islão

seca empilhada às entradas das cavernas. Essas fileiras de pedra empilhadas, oferecendo protecção e segurança constituíram o arquétipo de parede exterior que mais tarde evoluiria para um aparelho regular, cortado e desenhado por máximas de precisão e estética segundo as circunstâncias socioculturais.¹¹⁴

O início da relação humana com a pedra é marcado pelo significado transcendente do material. Era considerado matéria sagrada e intocável, cujas características provavam a sua existência como oferenda das divindades. A devoção ao material lítico assume várias formas. O bétilo é um dos exemplos da devoção ao material, considerado a efigie de um deus, uma pedra sagrada que albergava vida e protagonizava mitos. Assume diversos formatos e nomenclaturas, desde os menir megalíticos ao Onfalo de Delfos. Em algumas culturas, apenas um ser superior poderia dar autorização para manipular e moldar tal matéria pura. A Bíblia, no Velho Testamento, demonstra-nos essa idiosincrasia, onde nos é relatado que Deus ordenou ao povo de Israel “Depois de atravessardes o Jordão, conforme hoje vos ordeno, levantareis sobre o monte Ebal pedras e revesti-las-eis de cal. Ali construirás um altar para Javé teu Deus, um altar com pedras não trabalhadas com ferro. Constrói o altar de Javé teu Deus com pedras brutas, e oferece sobre ele holocaustos a Javé teu Deus. Oferece sacrificios de comunhão e come, festejando diante de Javé teu Deus. Escreve sobre essas pedras todas as palavras desta Lei, gravando-as bem” (Deuterónimo, 27: 4–8). A adoração pela pedra bruta e intocável advém da era Megalítica, como que uma primeira fase, onde os rituais eram fundados na pedra não lavrada, simplesmente presa ao solo, como nos menires, ou acumulados em tolos, monumentos de cúpula falsa, e muitos outros. É provável que inicialmente o estado bruto da pedra fosse uma limitação técnica, que posteriormente evoluiu para um dogma. Todavia, paradoxalmente, é o trabalho da pedra que permitiu ao humano prevalecer entre todas as espécies de primatas. São as ferramentas de pedra, moldadas e esculpidas, que lhe deu a vantagem e posterior vitória. O humano inicia a sua jornada de subjugação da natureza, ao dar formas geométricas aos materiais naturais, ao aprimorá-los, ao produzir ordem e harmonia, ao produzir disciplina e materializar intenções.¹¹⁵

114. HERZOG, Thomas. *Facade construction manual*. Basel Birkhauser, 2004, p. 63-64

115. BLANCO, Giorgio. *Storia, simboli ed espressione della pietra*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, pp. 20-22



Fig. 122_Muralha ciclópica, Micenas, Grécia



Fig. 123_Porta do Leão, Micena, Grécia



Fig. 124_Modelo em barro de uma típica habitação em adobe do povo egípcio, 2100 a.C.

1.2_Civilizações da Antiguidade

Embora a extracção da pedra com finalidade construtiva se tenha iniciado por volta de 5000 a.C., os primórdios da cantaria e do talhe regular do material surgiram apenas cerca 2500 a.C., o advento de ligas metálicas e consequentes ferramentas mais resistentes que pudessem igualar a dureza das rochas. O bronze foi um marco na história da manipulação da pedra. As técnicas de tratamento para este material atingiram grande rigor com os egípcios, que demonstravam a sua perícia não só nas cantarias de encaixe milimétrico mas também na produção de hieróglifos e baixos-relevos. Foram refinadas posteriormente pelos gregos na época áurea da sua arquitectura.¹¹⁶ A técnica de alvenaria insonsa¹¹⁷, presente nos templos egípcios e gregos, desenvolveu-se em paralelo com as técnicas que recorriam a argamassas para agregar blocos de pedra¹¹⁸, como nas muralhas ciclópicas das antigas povoações da Grécia, formadas por enormes blocos calcários irregulares cujos intervalos foram preenchidos com pedras de menores dimensões e ligados por argila já desvanecida com os séculos¹¹⁹.

A alvenaria egípcia figura um dos grandes marcos do início da manipulação da pedra. A sua arquitectura e construção incorporam duas respostas face às vicissitudes do tempo. As inundações cíclicas do Nilo, tal como o uso intensivo, atacavam as habitações comuns, provocando um desgaste veloz, mas não inesperado. Sem grandes custas, eram renovadas ou substituídas devido à facilidade de obtenção dos materiais que a compunham – lama, lã, esteiras de junco, areia ou palha. Ao contrário das alvenarias de tijolos de lama, as alvenarias de pedra resistiram quase inalteradas durante milénios. Túmulos e templos sobreviveram até aos nossos dias perdurando como trabalhos arquitectónicos milenares incríveis e impressionantes que nos fazem questionar sobre a logística por trás da sua construção. Estes conjuntos arquitectónicos religiosos resistiram não só pela escolha do material, mas também pela sua lógica de implantação – fora do alcance das cheias do Nilo, no limite com o deserto.¹²⁰ As duas técnicas de alvenarias estão presentes em obras monumentais, todavia em Saqqara marcou-se o ponto de viragem tecnológica onde a pedra se assumiu como o material de construção mais importante. Este material não implicou uma alteração fundamental da linguagem das formas arquitectónicas, com a excepção das pirâmides, cuja evolução morfológica fora iniciada. As lógicas da construção vernacular transpuseram-se e inspiravam a erudição das da

116. HERZOG, Thomas. *Facade construction manual*. Basel Birkhauser, 2004, p. 64

117. Alvenaria que carece do uso argamassas, cimentos ou qualquer tipo de ligante entre os elementos

118. SCHMITT, Heinrich. *Tratado de construcción: elementos, estructuras y reglas fundamentales de a construcción*. 6ªed. aumentada, Barcelona: Gustavo Gili, 1978, p. 119

119. SEGURADO, João Emílio dos Santos. *Alvenaria e Cantaria*. 5ª edição, Lisboa: Bertrand, 1945, p. 33

120. WILDUNG, Dietrich. *O Egipto: da pré-história aos romanos*. Köln: Taschen, 2001, p. 7-8

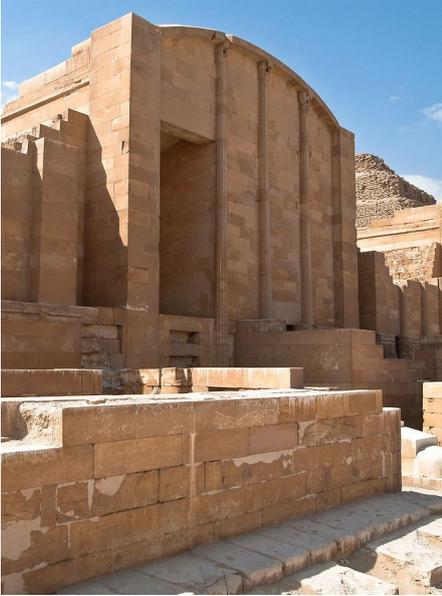


Fig. 125_(esq) Complexo de Djoser, Saqqara. Petrificação das formas da arquitectura vernácula de adobe e elementos vegetais. Ao fundo é possível ver a primeira pirâmide do Egípto, em mastabas

Fig. 126_(dto.) Templo do Vale de Quefren. Na sala simétrica, os pilares monolíticos, excepcionais à arquitectura egípcia, guardavam um conjunto de estátuas conferindo ao espaço baixo e tectónico um carácter de gruta, como um conjunto de nichos



Fig. 127_Esfinge sobre a Pirâmide de Quefren, cujo revestimento a calcário polido no topo ainda é visível

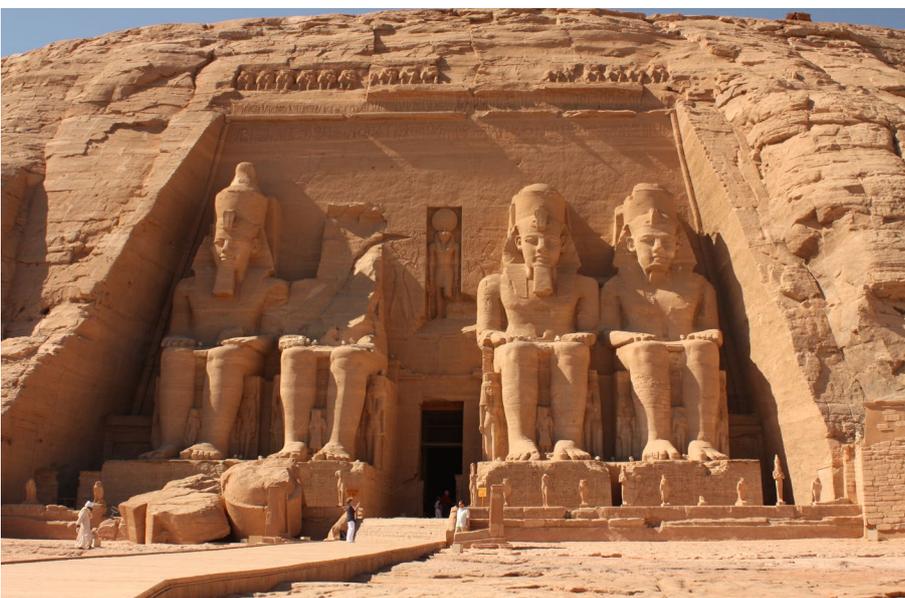


Fig. 128_Grande Templo de Abu Simel, escavado na encosta de uma escarpa do Nilo

pedra, como é evidente no Complexo de Djoser, Saqqara, circa 2650 a.C., onde uma estrutura ‘falsa’ em caules de planta ‘petrificados’ suportam um tecto arqueado de ‘juncos’¹²¹. As grandes pirâmides de Gizé e os seus complexos demonstram o uso experiente deste material e a diversidade de recursos. No topo da pirâmide de Quefren ainda é possível ver o seu revestimento em calcário polido, e na base, parte do revestimento de granito também permanece. No Templo do Vale da Pirâmide de Quefren, podemos ver grandes blocos de granito vermelho revestirem blocos de calcário. O paramento desta estrutura fascina-nos. Não existem dois blocos, e conseqüentemente, duas juntas iguais, criando um desenho de linhas estereotómicas limpo e rigoroso. O tecto é composto de vigas de granito assente em pilares monolíticos da mesma pedra, que contrasta com um pavimento de calcário branco, guardando vinte e três estátuas em gneisse (rocha metamórfica de granitos ou de rochas sedimentares detrítica siliciosas) verde acinzentado. Os pilares monolíticos do Templo do Vale devem ser entendidos como uma excepção aos comuns pilares de capitéis palmiformes já que o “princípio básico da arquitectura egípcia consiste no facto de os edifícios em pedra imitarem as formas inerentes às estruturas feitas de madeira, esteiras e tijolos”¹²². A própria Esfinge de Gizé, presente no complexo com 73,5 metros de comprimento, foi talhada numa saliência rochosa e posteriormente revestida demonstrando a versatilidade dos pedreiros da época.¹²³ A aptidão de manipular os acidentes geológicos em proveito do ser humano é demonstrada pelos templos talhados na rocha, estruturas particularmente populares no tempo de Ramsés, à qual o Templo de Abu Simbel, circa 1250 a.C., é um exemplo. O templo penetra o estrato rochoso dos planaltos do vale do Nilo, Núbia, 60 metros acima do nível da água, dentro do subsolo, incorporando grande simbologia nos espaços que gera.¹²⁴

Por volta de 1500 a.C. as comissões dos governantes do Egipto atingiram o apogeu técnico da construção em pedra em obras como o Salão Hipostilo do Templo de Karnak cujas colunas de 22 metros de altura e frisos que venciam os 7,2 metros entre centros, foram organizados numa colonata que se estendia por uma área próxima a um campo de futebol. Apesar destas dimensões se aplicarem apenas a 12 das 134 colunas (as restante possuíam 13 metros de altura), todo o conjunto foi um feito técnico impressionante que continua a fascinar até hoje.

Embora os egípcios tenham ensinado como desenhar edifícios

121. WILDUNG, Dietrich. *O Egipto: da pré-história aos romanos*. Köln: Taschen, 2001, pp. 36-38

122. Idem, p. 58

123. Id., pp.47-58

124. Id., p. 147 e 153



Fig. 129_(esq.) Sala Hipostilo, Templo de Karnak

Fig. 130_(dto.) Pormenor dos capitéis lotiformes, que caracterizam a arquitectura egípcia, e dos lintéis monolíticos, que caracterizam o sistema trilítico



Fig. 131_Pártenon, pórtico nascente, Acrópole de Atenas, Grécia. É possível ler a entasis na mudança de espessura da coluna consoante a altura. A base é relativamente mais grossa que o topo



Fig. 132_Zigurate de Ur, Irão

de larga escala, foram os gregos quem formalizaram os processos de desenho, desenvolvendo diversas soluções, de forma a melhorar o método e a qualidade final construtiva. Os grampos em ferro forjado em forma de H, que travavam os blocos de pedra do friso e arquitrave, foram copiados dos egípcios todavia com variantes em cobre e bronze. Utilizaram a mesma técnica de rampa em terra para erguer vigas de pedra com mais de 8 metros e pesando quase 20 toneladas. Os templos gregos testemunham a mesma perícia de talhe da pedra onde grandes blocos de mármore e calcários foram transformados em colunas caneladas e lintéis esculpidos que inclusivamente demonstram a minúcia da manipulação da percepção óptica através do detalhe da *entasis*¹²⁵ (ver Fig. 131).

Os edifícios de alvenaria das civilizações antigas são caracterizados pelo uso do sistema trilítico – sistema de três ‘pedras’, colunas e lintel. Este sistema, apesar das potencialidades já evidenciadas, foi desenvolvido empiricamente, pois carecia da compreensão científica das suas capacidades. Questões sobre as capacidades mecânicas da pedra, quanto poderia ela estender-se no ar antes de arquear e quebrar, quão alta e larga requeria que fosse para o vão que vence ou seria o rectângulo a secção mais vantajosa, eram apenas respondidas por experimentação ou conhecimento transmitido entre construtores e arquitectos. A ciência e a matemática responderiam a estes problemas apenas quando Galileu publicasse *Duas Novas Ciências* (original italiano: *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze*) em 1638.¹²⁶

Com a perícia da manipulação da pedra, ou pelo menos pela impressionante escala dos volumes trabalhados, é natural pensar que as primeiras civilizações utilizavam principalmente pedra como material construtivo. Na verdade, a pedra era elitista, continuando a figurar um papel de destaque e nobreza, uma honra herdada do seu culto primitivo. Só em raras ocasiões as construções habitacionais usam a pedra como material de construção, já que era demasiado cara em comparação com a construção em taipa e adobe. Estes materiais assumiam o papel predominante na construção das civilizações antigas, como sumérios, babilónios e egípcios, devido à sua enorme plasticidade e abundância.

O barro rapidamente tomou uma nova forma, que substituíu a pedra mais cara, como tijolo seco ao sol ou posteriormente cozido em fornos. As primeiras construções em alvenaria de tijolo encontram-se na Mesopotâmia, da qual um exemplo icónico é a cidade de Ur e

125. Técnica de correcção da ilusão óptica perspéctica que produz concavidade nas linhas paralelas de um fuste perfeitamente cilíndrico. Consiste no engrossamento a um terço a meio altura da coluna para subverter a ilusão.

126. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 15-16



Fig. 133_Aqueduto Pont du Gard, França

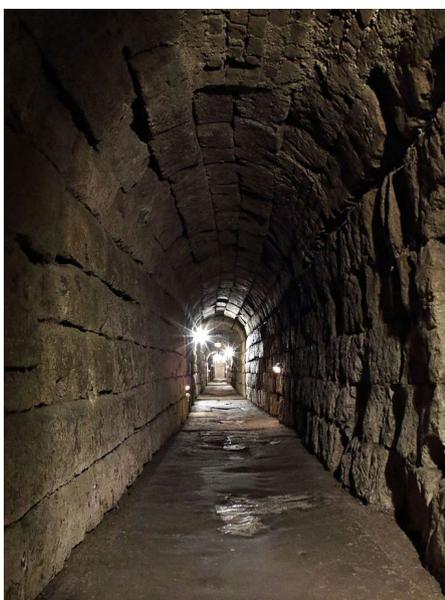


Fig. 134_(esq.) Túnel de sistema de esgotos romano, Cologne, Alemanha, séc. I. Abóbada (em alvenaria de pedra) constitui um dos elementos principais da revolução construtiva romana, tal como as suas infraestruturas

Fig. 135_(dto.) Complexo de túneis subterrâneos das Termas de Caracalla, séc. II. A abóbada será imperativa para o desenvolvimento de sistemas subterrâneos como das termas, para fluxo de água, aquecimento e armazenamento



Fig. 136_Construção de parede por opus caementicium: núcleo de cimento romano, cujo agregado é de tijolo, revestimento por tijolo em opus testaceum

o seu Zigurate, circa 2100 a.C. Como a construção em pedra talhada exigiam um esforço consideravelmente maior do que a construção em tijolo, o último ganhou relevância como o perfeito substituto, enquanto se aplicava as mesmas lógicas de aparelhamento. Só quando existia nas proximidades (e era adequado para essa finalidade), ou para obras preeminentes, é que a pedra era preponderante.¹²⁷

1.3_Século V a.C. a V d.C.: Domínio Romano

É a incansável campanha construtiva romana que assinalam o próximo marco da história da construção e arquitectura. No decorrer dos séculos de conquista, expansão, absorção e exploração dos recursos, quer materiais quer técnicas, essas disciplinas conheceram um impulso de inovação e desenvolvimento. Os romanos atingiram um alto grau de qualidade e mestria pela exaustiva construção dos elementos que distinguem este período. Entendidos como grandes construtores, difundiram técnicas construtivas, nenhuma da qual radicalmente inventada por eles, mas antes, herdadas dos etruscos, gregos ou anexações. A base da revolução construtiva está na vulgarização do uso de elementos arquitectónicos do arco, da abóbada e da cúpula. A revolução é dada pela passagem do sistema trilitico estático para um sistema dinâmico de estruturas arqueadas, arcos ou abóbadas, que transferem as cargas verticalmente para o solo. O vocabulário arquitectónico evoluiu em consequência desta transformação.¹²⁸ Nas mãos dos romanos, o elemento simples do arco e os seus derivados, já explorados por outras civilizações, ainda que escassamente, atingirão escalas e estruturas nunca antes possíveis até então com o sistema trilitico¹²⁹. Os substitutos da pedra tornar-se-iam cruciais para o desenvolvimento das técnicas de alvenaria e cantaria pela associação de redução de custos com a possibilidade de empregar e aprimorar as mesmas lógicas das técnicas pétreas. Em conjunto com o tijolo burro e o betão romano, *opus caementicium*, a pedra assume novas formas e disposições, o que lhes permitiu expandir as capacidades resistentes destes materiais para além do expectável.

Apesar de entendidos como recolectores e divulgadores de técnicas construtivas, têm o mérito por inventar e explorar o cimento hidráulico. A adição de pozolana (cinza vulcânica) ao cimento, confere-lhe a qualidade de endurecer debaixo de água e assim revolucionar o uso do betão por volta de 150 a.C. ao permitir a construção de infra-

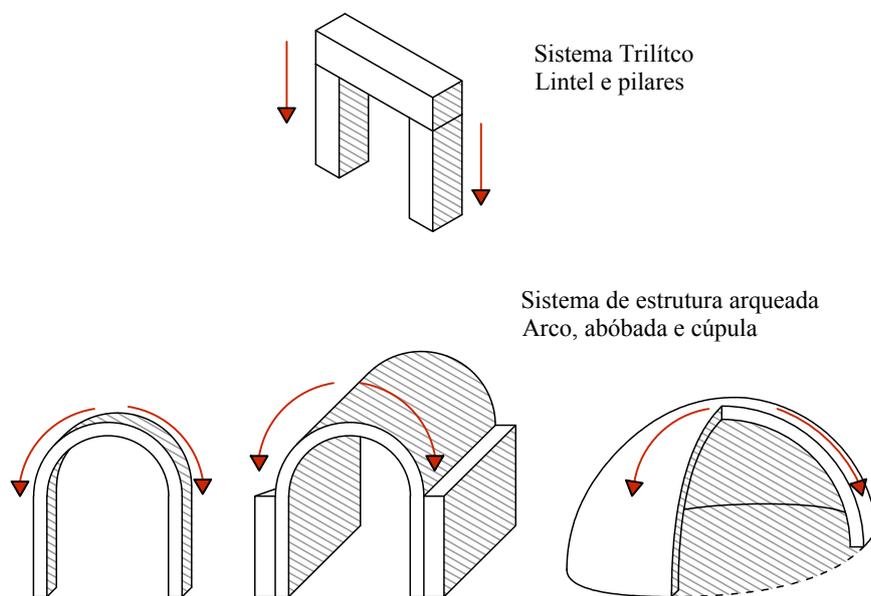
127. SCHMITT, Heinrich. *Tratado de construcción: elementos, estructuras y reglas fundamentales de a construcción*. 6ªed. aumentada, Barcelona: Gustavo Gili, 1978, p. 119

128. STIERLIN, Henri. *O Império Romano: dos Etruscos ao declínio do Império Romano*. Koln: Taschen, 1997, p. 7

129. MOFFETT, Marian; FAZIO, Michael e WODEHOUSE, Lawrence. *A world history of architecture*. London: Laurence King, 2003, p. 114



Fig. 137_Arco maia. O arco ganha um recorte em forma de escadaria invertida pelos silhares colocados em consola consecutivamente



Sistema Trilítico
Lintel e pilares

Sistema de estrutura arqueada
Arco, abóbada e cúpula

Fig. 138_Esquema de comparação entre sistema trilítico e o sistema romano, com condução das cargas

estruturas à prova de água, como aquedutos, portos, e fundações em terrenos húmidos. O desenvolvimento desta argamassa impulsionou ainda mais os usos e potencialidades dos materiais explorados, nomeadamente a pedra e o tijolo.

A repetição exaustiva do acto construtivo, sob a forma de infra-estruturas, permitiu-lhes desenvolver as aptidões construtivas e vulgarizar os elementos arquitectónicos e estruturais, eleitos pela consequente economia de meios. Quer por propósitos militares, comerciais ou civis, vias, pontes, fortificações ou sistemas de provisão de água a cidades em expansão incorporavam e experimentavam com as novas configurações dos materiais e estruturas. A estrutura do arco, a sua extrusão, a abóbada, e rotação, a cúpula, permitem com pequenas pedras, ou, se indisponíveis, com tijolos de barro, materializar estruturas que vencem grandes vãos, para pontes, aquedutos, coberturas, etc. Este sistema contrasta imenso com as largas vigas e pilares imprescindíveis para erguer um templo grego ou egípcio com o sistema trilítico. A necessidade de material da mais alta qualidade desaparece com os elementos arqueados pois ao trabalharem em compressão podem utilizar quase qualquer pedra.¹³⁰

Ao contrário das falsas abóbadas de avanço¹³¹, característica da construção maia¹³², um verdadeiro arco, abóbada ou cúpula, consiste de aduelas¹³³ que necessitam de um cimbrião¹³⁴ até a estrutura ser fechada e tornar-se autoportante. O peso da estrutura arqueada gera forças de impulso horizontais nos suportes, exigindo que estes tenham consideráveis espessuras para lhes resistir. As estruturas arqueadas romanas requerem um sistema parietal secundário, muito mais predominante e espesso que no sistema trilítico.¹³⁵ A solução estrutural universal desenvolvida por eles representava não só uma enorme redução de tempo e custos mas também de dificuldades. Ao ultrapassar as limitações dos períodos anteriores expandiu os horizontes e capacidades máximas da construção humana.

Herdeiros dos desenvolvimentos dos séculos anteriores, em especial da metodologia para projectar e construir enormes edifícios, os romanos ergueram edifícios durante séculos que suplantavam a escala e engenharia de exemplos gregos como o Pártenon, cerca 432 a.C. Desde a expansão da República nascida em 509 a.C., à queda do Império Romano do Ocidente em 476 d.C., testemunhou-se, apesar de um lento início, um dos períodos de construção e arquitectura mais notórios da história – mais notório do que o século XX se considerarmos a ausência

130. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, pp. 34-38

131. A técnica da falsa abóbada consiste na sobreposição de blocos em balanço travados por alvenaria, permitindo cobrir um pequeno vão

132. STIERLIN, Henri. *Os Maias: palácios e pirâmides da floresta virgem*. Koln: Benedikt Taschen, 1998, p. 22

133. Pedra talhada em cunha constituinte da superfície curva de um arco ou abóbada, com face côncava no intradorso.

134. “Armação de madeira ou metal destinada a suportar os materiais dos arcos ou abóbadas durante a sua execução” in *cimbrião* in Dicionário Infopédia da Língua Portuguesa [em linha]. Porto: Porto Editora. Consultado em 07-08-2018. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/cimbrião>

135. MOFFETT, Marian; FAZIO, Michael e WODEHOUSE, Lawrence. *A world history of architecture*. London: Laurence King, 2003, p. 114-115



Fig. 139_ Coliseu, Anfiteatro Flaviano. Um sistema de arcos estrutura a fachada circundante, reflexo do sistema de abóbadas internas que erguem as bancadas

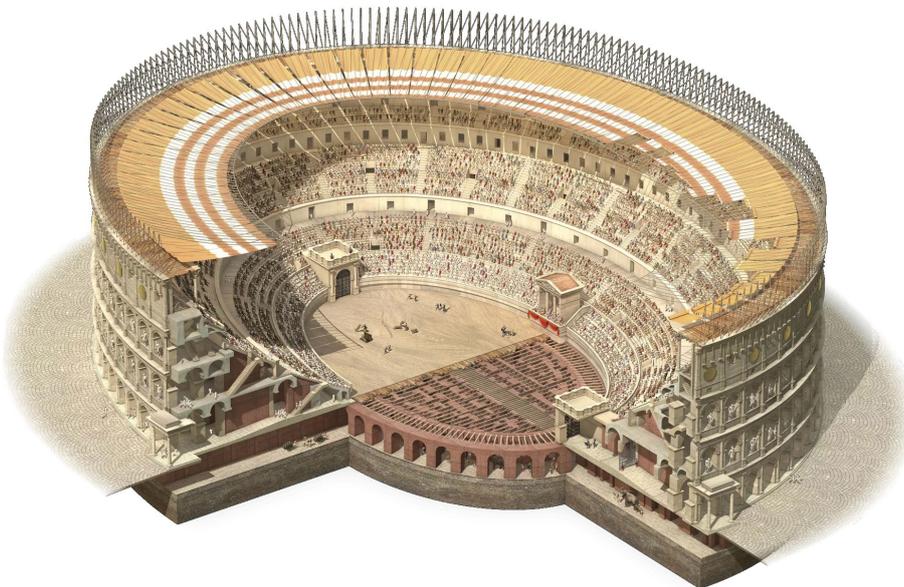


Fig. 140_ Corte esquemático do Coliseu. Um complexo sistema de arcos, abóbadas e paredes erguem uma encosta artificial para elevar as bancadas enquanto criam sistemas de túneis para circulação de pessoas e bens

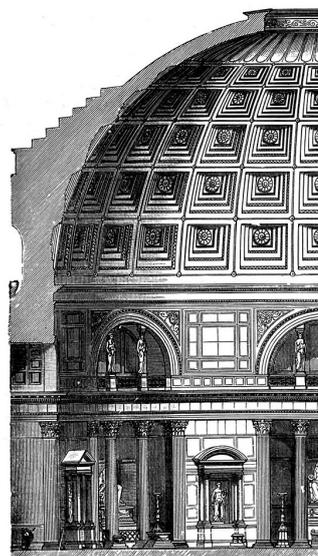


Fig. 141_(esq.)_ Panteão, Roma. Perspectiva interior para a entrada. O revestimento pético oculta a técnica construtiva complexa de *opus caementicium* utilizada

Fig. 142_(dto.)_ Corte do Panteão. O perfil da cúpula diminui com a altura a fim de conquistar estabilidade enquanto ascende e corta o ar para fechar o vão

de conhecimento científico, matemático, físico, químico e mecânico assim como a inexistência de maquinaria motorizada para erguer e mover materiais com facilidade. Só a meio do século XIX é que muitas das proezas romanas foram suplantadas, todavia não em alvenaria, betão ou madeira, mas em ferro e aço.

Um exemplo da perícia construtiva romana é o Anfiteatro Flaviano, o Coliseu, circa 70 d.C. Ilustre pela sua escala e desenho, a planta elíptica abrange 188 por 156 metros, utilizou mais de 100 mil metros cúbicos de travertino para a sua construção, conquistaria uma altura impressionante de 48 metros, similar a um actual edifício com 16 andares, e apesar da falta de consenso, estima-se a sua capacidade para 50 mil pessoas. A sua estrutura ilustra o sistema romano construtivo, onde por baixo das bancadas de mármore existem mais vazios que sólidos, por causa do sistema de arcos e abóbadas assentes em paredes e pilares substituindo a encosta natural na qual os anfiteatros se implantavam. O sistema traduziu-se numa enorme redução de custos enquanto a rede de vazios forneceu aos espectadores os necessários espaços de circulação e acesso. A pedra assume-se como estrutura e revestimento numa multiplicidade de técnicas construtivas, desde a utilização de alvenaria em travertino, paredes divisórias e enchimento em tufo calcário (pedra sedimentar calcária porosa), abóbadas em betão romano a paredes em alvenaria de tijolo revestido a travertino.¹³⁶

O Panteão, circa 118-126 d.C., é igualmente um exemplo da notoriedade da construção deste período com igual recurso a diversas técnicas e materiais. A cúpula, que continua nos dias de hoje como a maior cúpula de betão não armado do mundo, vence um vão impressionante de pouco mais de 43 metros de diâmetro, permanecendo imbatível face ao domo de Brunelleschi na Catedral de Florença, Santa Maria dei Fiori (1434) ou ao domo de Michelangelo em São Pedro, Roma (1590). A cúpula do Panteão é construída em *opus caementicium*, isto é, betão romano, uma mistura de argamassa de cimento hidráulico e agregado pétreo. Por recurso a soluções estruturais e arquitectónicas comuns à altura da sua construção, ultrapassaram-se os limites em quase três vezes do realizado até então. Os agregados incorporados no cimento são sucessivamente mais leves à medida que a cúpula ascende. O betão das fundações incorpora os estéreis produzidos do talhe dos blocos de travertino usados; o primeiro nível utiliza uma mistura de travertino e tufo, substancialmente mais leve; no segundo nível o agregado é constituído de camadas alternadas de tufo e telha partida; no

136. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 45-46



Fig. 143 _Arco de Galério, Tessalónica, Grécia, séc. IV. A estrutura evidencia o sistema construtivo romano da época: um núcleo de *opus caementicium* forrado a tijolo, *opus testaceum*, que é posteriormente revestido com placagem de pedra, mármore ou calcário, repleta de detalhes e narrativas, característico dos arcos triunfais

estrato superior e nível inferior da cúpula o agregado é principalmente tijolos partidos, seguindo-se uma alternância de tijolos partidos e tufo, e rematando no topo da estrutura com tufo leve e pedra-pomes (tufo vulcânico). A redução quer da densidade quer da secção da cúpula progressivamente com a sua altura aligeira toda a estrutura e reduz os seus custos de produção sem ameaçar a estabilidade ou qualidade final.¹³⁷

Em 300 d.C. o império romano iniciou o seu longo e lento declínio. Durante a última fase do império, o *opus testaceum*, betão revestido de tijolo, tornou-se a técnica de construção por excelência, de tal modo que a pedra quase não era utilizada, com a excepção dos arcos de triunfo ou revestimentos mais ostentadores¹³⁸. A defesa das fronteiras na parte ocidental europeia contra as pressões dos países vizinhos mostrou-se cada vez mais oneroso. A preterição de Roma nas grandes rotas comerciais devido à concorrência de Alexandria, Egipto, Antioquia, Ásia Menor, e Constantinopla, sem dúvida agravou o processo de declínio. Rapidamente, à medida que o império era invadido, novas ideias inseriram-se no paradigma romano, introduzindo conceitos do mundo islâmico. No século VII, os muçulmanos trouxeram do norte de África uma solução característica de arcos suportados por colunas esbeltas, um sistema estrutural mais delicado do que aquele que os romanos tinham desenvolvido com os seus pilares e paredes espessas. Apesar da evolução arquitectónica, das formas e elementos que a compunham, pouca inovação se testemunhou na construção. A estagnação deveu-se à interpretação do legado romano como tecto das possibilidades construtivas, assim como à escassez de recursos decorrente da fragmentação do império em pequenos estados menos motivados para grandes projectos públicos. Na ausência de uma grande força promotora, como as necessidades de um império em expansão, não é de todo uma surpresa o irrelevante desenvolvimento na construção que se deu na Europa durante os séculos após o declínio de Roma.

O maior avanço e contributo construtivo por parte dos romanos foi a difusão das técnicas de alvenaria (com incorporação do betão) permitindo a estabilidade estrutural independente da escala. Caso um modelo de uma abóbada em tijolo ou pedra consiga vencer um vão de um metro, então uma abóbada geometricamente similar vencerá um vão vinte vezes maior se necessário. As geometrias descritas pela disposição dos elementos construtivos pela primeira vez permitem-lhes ultrapassar as limitações intrínsecas do elemento, como de um lintel, caso tentasse

137. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 51-52

138. COLE, Emily. *A gramática da arquitectura*. 1ª Edição, [S.L.]: Livros e Livros, 2003, p. 146



Fig. 144_Dharmaraja Ratha, parte do conjunto das Pancha Rathas (Cinco Pagodes), séc. VII, representa uma das tipologias da arquitetura hindu: construção pelo talhe de um monolítico desprovido de espaço interior ou apenas um tabernáculo



Fig. 145_Cavernas de Elefanta, entrada lateral, séc. VI, representa um das tipologias da arquitetura hindu: salas hipostilo escavadas na rocha de montanhas e escarpas



Fig. 146_Templo de Kailasa, parte do complexo das Cavernas de Ellora, séc. VIII, representa uma mistura das duas tipologias da arquitetura hindu: salas hipostilo e templos esculpidos da rocha de montanhas e escarpas. Cerca de 2,4 milhões de toneladas cúbicas de pedra foram removidas para criar o complexo

vencer individualmente o mesmo vão. Este fenómeno de transporte e escala beneficiará os construtores medievais e posteriormente os góticos, porém é necessário clarificar, tal só é possíveis porque os elementos estruturais em questão não estão a ser solicitado à flexão ou tracção, mas sim em compressão.¹³⁹

1.4_Século V a XV: Era Medieval

Numa nota paralela ao desenvolvimento ocidental, entre os séculos V e XVIII, ergueram-se na Índia hindu um diferente tipo de construções, cuja pedra era a matéria-prima. Ao contrário dos templos ocidentais, a generalidade dos monumentos religiosos da Índia não apresentam espaços interiores, são simples tabernáculos para salas de ritos ou de protecção da imagem sagrada do deus. Talhados na rocha das montanhas em profundidade criando salas hipostilas ou esculpindo massas rochosas para geral volumes, a sua monumentalidade exprime-se através dos volumes dotados de simbolismo e dos revestimentos narrativos em ornamentos e escultura.¹⁴⁰ Quer esculpidos na montanha ou quer nos acidentes geológicos, os edifícios são obtidos pela subtração de matéria e não por acumulação de blocos lavrados. Exemplos de destaque desta arquitectura hindu são Ellora, Mahabalipuram e as grutas de Elefanta e Udayagiri.¹⁴¹

O colapso do império romano do ocidente em 476 d.C. provocou a ausência da sua herança até o advento da arquitectura românica. Apesar da exploração e evolução das soluções arquitectónicas do mundo islâmico na Europa, serão precisos 600 anos para se sentir uma nova explosão construtiva alimentada pela redescoberta pelo conhecimento antigo. A interrupção da progressão técnica dos séculos anteriores deveu-se principalmente por motivos socioculturais. A fragmentação do império, que gerou povoações de menores necessidades e menores redes de comunicação de ideias e saberes, assim como a retirada das forças militares, que interrompeu o ciclo de formação intelectual no conhecimento e saber construtivo, arquitectónico e urbanístico, conduziu à perda da capacidade de interpretar, utilizar ou compreender o valor da herança cultural e tecnológica romana, impedindo que esta alcançasse e progredisse com as gerações futuras. Os poucos textos gregos e romanos que sobreviveram perderam-se, e mesmo os que perduraram contêm apenas parte do conhecimento qualitativo que poderia ser registado. A intensificação do acto de construir regressará

139. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 60

140. STIERLIN, Henri. *A Índia Hindu: templos e santuários de Khajuraho a Madurai*. Köln: Taschen, 1999, p. 7

141. Idem, p. 14

142. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, pp. 65-73



Fig. 147_ Abadia de Sainte-Trinité de Lessay, Normandia, França. Abadia beneditina do séc. XI cujo carácter militar vive na sua aparência robusta e pesada com ligeiros apontamentos de contrafortes e reforço dos cantos, similar aos castelos da época

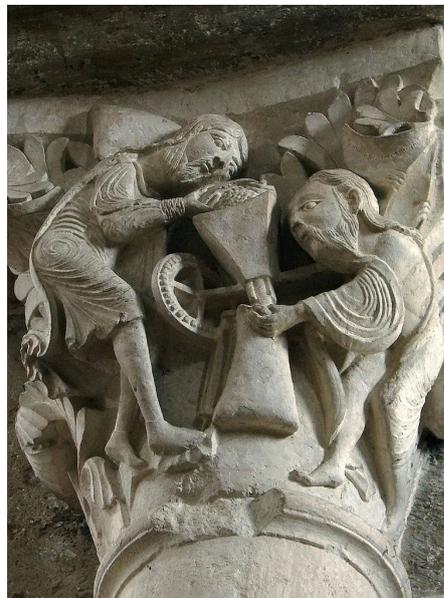


Fig. 148_(esq.)_ Batistério de S. João, Florença, Itália. O jogo cromático pétreo do séc V tornar-se-á referência à arquitectura românica toscana e a algumas obras renascentistas

Fig. 149_(dto.)_ Capitel do Místico Moinho, Basílica St. M. Madeleine. A cena representa a transformação das profecias (grão) carregadas por Moisés (Antigo Testamento), em ensinamentos (farinha) carregadas por Paulo de Tarso (Novo Testamento) através de Jesus (moinho)



Fig. 150_ Sé Velha de Coimbra, séc. XII. O espectro da arquitectura românica apresenta muitas variações locais e nacionais, todavia a portuguesa é particularmente marcada pelo forte carácter militar, onde a linha entre fortaleza e igreja se esbate

no século XI, graças ao crescimento socioeconómico europeu, com as pequenas comunidades rurais estabelecidas nos séculos passados atingirem novos patamares de prosperidade e ampliação.¹⁴²

A arquitectura românica, caracterizada pelo ambiente militar da época, de paredes espessas e pequenas janelas, reexplorou valências ancestrais da pedra. O poder comunicativo foi uma poderosa arma para a fixação do Cristianismo, especialmente, entre uma população maioritariamente analfabeta. As colunas e portais, inspirados na cultura romana, adaptam-se às necessidades e transformam-se em narrações dos ensinamentos cristãos. A pedra assume papel de narrador com as esculturas e relevos em que é esculpida, incorporados nos capitéis, fustes, bases, tímpanos e arquivoltas. Um dos extensos exemplos do poder comunicativo da pedra, devido à sua capacidade de trabalhabilidade e perenidade, são os capitéis na Basílica de Sainte-Marie-Madeleine, Vézelay, França, 1138. Num simples elemento está contido uma rica simbologia de doutrina cristã.¹⁴³

A exploração da vertente estética da pedra é particularmente notório na arquitectura românica toscana, cujas composições dicromáticas de inspiração romana de *alberese* branco e verde¹⁴⁴ das fachadas¹⁴⁵ constituem importantes experiências no campo do revestimento ornamental pétreo. Esta estética será utilizada na Renascença por mestres como Leon Battista Alberti, em obras como a fachada de Santa Maria Novella.

Nos séculos finais da Idade Média, evoluindo da arquitectura romana, é desenvolvida a arquitectura gótica mediante um progresso intelectual baseado nos conhecimentos e metodologias romanas. Num clima de estabilidade e prosperidade sucede-se uma nova expansão das capacidades dos materiais utilizados. A prosperidade induziu receio, que por si fomentou cautela. A necessidade de protecção, oriunda do período românico do século X a XII, promoveu uma demanda de fortificações e casas fortificadas em alvenaria, pois as construções vernaculares em taipa e adobe mostravam inadequadas contra os equipamentos e assaltos bélicos cada vez mais engenhosos. Não é difícil traçar uma correlação entre o progresso tecnológico (construtivo) com as eventualidades militares da história.

Individualmente, os materiais desempenharam novas funções e sobre novas formas. O trabalho de cantaria e alvenaria intensifica com a generalidade da estrutura a tornar-se em peças manuseáveis sem qualquer revestimento. Embora as asnas construídas fossem mais

143. MOFFETT, Marian; FAZIO, Michael e WODEHOUSE, Lawrence. *A world history of architecture*. London: Laurence King, 2003, p. 215

144. Termo utilizado na Toscana para referenciar vários tipos de pedras calcárias. Todavia o efeito cromático é atingido com outras gamas de pedras, desde mármore branco de Carrara, mármore verde de Prato (serpentinito, uma rocha metamórfica siliciosa verde) a *pietra serena* (arenito cinzento, uma rocha sedimentar detrítica). In WIKIPÉDIA, *Pietra alberese*. Consultado em 21-08-2018. Disponível em: https://it.wikipedia.org/wiki/Pietra_alberese

145. WIKIPÉDIA. *Romanico fiorentino*. Consultado em 21-08-2018. Disponível em: https://it.wikipedia.org/wiki/Romanico_fiorentino



Fig. 151 Hagia Sophia, Istambul. Pormenor dos arcos travados com ferro forjado



Fig. 152 Catedral de Iorque, Inglaterra. Pormenor dos arcobotantes e contrafortes que exteriorizam a condução das cargas e permitem a abertura de grandes vão. Os contrafortes são travados com pináculos. A cobertura é revestida a folha de chumbo



Fig. 153 (esq.) Basilica de Saint-Denis, Paris. Note-se a exaltação da luz e do desenho de abóbada ogival derivada do arco quebrado, características da arquitectura gótica



Fig. 154 (dto.) Catedral Notre Dame, Paris. Vista da nave principal e do seu abobadamento de desenho mais simples com leitura do arco quebrado mais proeminente. Note-se a verticalidade da arquitectura gótica

complexas, as técnicas de carpintaria da sua montagem são próximas das usadas nos cimbres dos arcos e abóbadas romanas. O ferro forjado continua a ser utilizado para associar e travar grandes blocos de pedra, contudo começa a ser utilizado em forma de tirante, solicitado a trabalhar à tracção para o contraventamento dos elementos estruturais verticais que sofrem os empuxos horizontais das estruturas arqueadas que suportam. O tirante já estava em uso na arquitectura bizantina, sendo a Hagia Sophia, de 537, um exemplo. Posteriormente esta técnica figura na cultura construtiva islâmica. O uso mais impressionante é sem dúvida a conciliação do ferro forjado, traceria de pedra, vidro colorido e solda de chumbo para criar um extenso vitral capaz de resistir à acção do vento. O vidro por si nunca havia sido usado a tamanha escala e perícia até ao período medieval. Materiais como tijolo burro e betão romano estão completamente ausentes, tal como a telha, que é preterida por folhas de chumbo para o revestimento das coberturas das catedrais.

A principal evolução intelectual está no desenvolvimento de um sistema estrutural de aparência esbelta e recortada capaz de conduzir as cargas e esforços solicitados, como o peso próprio e a forte acção dos ventos devido às grandes alturas conquistadas. Enquanto as construções de alvenaria românica resistiam à acção dos ventos graças à massa e espessura dos elementos estruturais, as catedrais góticas faziam-no graças ao jogo dos novos elementos arquitectónicos em alvenaria de pedra derivados da inovação e criatividade geométrica. O arco apontado, a abóbada ogival (nervurada), o arcobotante e os contrafortes (que foram parcialmente experimentados no românico) marcam a arquitectura gótica pela expansão das capacidades estruturais da pedra, tornando num elemento leve, capaz de atingir alturas tão altas que captura o céu dentro do edificado. O arco apontado conquista altura e reduz as forças desestabilizadoras geradas por um arco de volta perfeita, romano; a abóbada ogival, extrusão e consequência do arco quebrado, permite o desenvolvimento de padrões complexos e cativantes; Os contrafortes, principais elementos de contraventamento, não precisam de estar adossados ao edifício, pois recebem as cargas deste através dos arcobotantes. Descarta-se a necessidade de espessas paredes de suporte e conquista-se uma elegância ‘exo-esquelética’ graças aos planos de vidro que este sistema permite abrir. Por fim, outra inovação, díspar ao desenvolvido até então, foi a utilização deliberada de aumento do peso próprio como forma de estabilizar o edifício em altura, travando-o com pesados remates de pináculos e estátuas.



Fig. 155 Castelo de Harlech, séc. XII. Apesar de em ruínas, a sua lógica de construção e desenho é legível: muralha espessa, implantação em ponto alto, reforço dos cantos



Fig. 156 Castelo de Ussé, ou Château de Ussé, séc. XIV. Produto de um processo de petrificação de uma estrutura defensiva anterior, apesar de apresentar elementos da arquitectura militar, não possui capacidades defensivas

Devido às propriedades da alvenaria, onde a sua resistência e desempenho advêm do arranjos geométricos e não tanto dos elementos individuais, as (estruturas das) catedrais góticas apresentam uma multitude de configurações, já que o próprio arco apontado permite só por si uma flexibilidade de dimensões e alturas para o mesmo vão, que o arco de volta inteira não possui.¹⁴⁶ As catedrais e abadias obtêm o seu desempenho térmico típico devido à inércia e massa térmica das pedras que compõem a sua alvenaria e cantaria: ambientes interiores frescos durante as estações quentes e comparativamente quentes durante as estações frias¹⁴⁷.

O investimento na alvenaria através dos castelos, fortificações e igrejas resultou na criação de uma força de trabalho especializada e bem treinada, bem como na vulgarização das técnicas construtivas. No fim do período da era medieval, a alvenaria estava a ser largamente usada em edifícios, públicos ou privados, em cidades prósperas da Alemanha, França e Europa Central. Com o enfraquecimento da actividade militar durante os séculos XIV e XV, os castelos tornaram-se instrumentos de opulência da riqueza e estatuto dos barões, duques ou monarcas albergados. A própria muralha circundante desapareceu, preterida por paredes mais espessas que integravam salas rodeando um pátio, com um carácter mais habitacional. Nas construções domésticas do século XIV vêm-se as práticas usadas anteriormente nas fortificações e igrejas: paredes de alvenaria de pedra que suportam maiores vãos de cobertura e maiores espaços interiores. Também se testemunha uma melhoria dos serviços oferecidos pelo edifício, como aquecimento e água corrente, a evidência da consolidação do conceito de construção como forma de providenciar conforto aos utilizadores. A melhoria do aquecimento decorreu da possibilidade concedida pela alvenaria da construção de chaminés e lareiras, em especial nas regiões frias da Europa. Os pontos de fogo não surgiam só na cozinha, separada das restantes divisões, mas também nos espaços de estar, como quartos e salas. Todavia, nas Ilhas Britânicas este sistema construtivo permanecera reservado para fortificações, igrejas e residências dos ricos e poderosos continuando a materializarem-se as construções domésticas em madeira durante mais dois séculos.¹⁴⁸

A explosão construtiva¹⁴⁹ do Norte da Europa, constituída principalmente de fortificações e edifícios religiosos, ultrapassou as façanhas tecnológicas do império romano durante o século I e III d.C., no domínio da pedra. No século XV a reiteração da história manifestou-

146. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, pp. 92-97

147. Idem, p. 110

148. Id., p. 86

149. A força de trabalho originada pela explosão construtiva serviu os líderes religiosos como ferramenta crucial para a fixação do Cristianismo através da edificação de igrejas e catedrais. Em França, durante três séculos iniciados em 1050, 8 catedrais, 500 igrejas e mais de 10 mil pequenas igrejas foram construídas, enquanto em Inglaterra e Gales, foram mais de 30 catedrais e vários milhares de igrejas. Idem, p. 86-87



Fig. 157_ Cúpula da capela do Château d’Anet, Philibert de l’Orme, séc. XVI. Um trabalho estereotómico perspético pois as nervuras diminuem o espaçamento entre elas enquanto ascendem na cúpula, iludindo uma estrutura mais alta do que realmente é

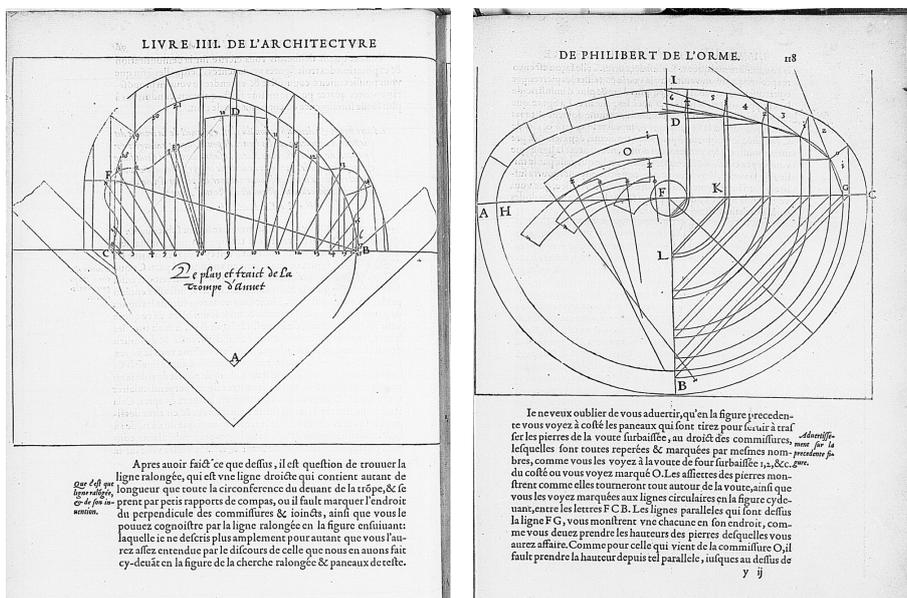


Fig. 158_ Ilustrações de determinações geometricas de *Premier tome de l'Architecture*, Philibert De l'Orme, 1576

se no norte de Itália, com novas fortunas geradas pelo comércio naval e rotas comerciais com o Médio Oriente estabelecidas no século XIII. A competição de opulência entre as cidades e famílias banqueiras, que investiram nas indústrias artesãs com previsão de grandes retornos lucrativos, provocou um estímulo na indústria da construção. Gerou-se uma nova explosão de construção.¹⁵⁰

1.5_Século XV a XVII: Renascimento e Barroco

O talhe da pedra iniciou o seu percurso para a industrialização e proficiência durante o Renascimento com desenvolvimento no Barroco. O método até então implicava o transporte dos pesados e colossais blocos monolíticos para o estaleiro onde se procedia ao seu corte, desbaste, tratamento e montagem. O corte da pedra era realizado *in situ* o que implicava grandes custos de transporte e tempo, já que os silhares só seriam emparelhados depois da montagem dos subadjacentes. O processo construtivo acelerará com o progresso intelectual e transformação metodológica de arquitectura. Por recurso à evolução da Geometria Euclidiana e da Matemática, a disciplina da estereotomia revolucionou a utilização da pedra. A disciplina permitirá determinar em rigor as formas e dimensões dos elementos complexos e permitir aos pedreiros trabalhar em quantas peças possíveis simultaneamente fora da obra para serem inseridas *in situ* mal fossem necessárias.¹⁵¹

A estereotomia representa todo um corpo de conhecimento teórico-técnico-prático utilizado para corte e distribuição dos elementos de construção, nomeadamente a pedra, todavia não se limita à operação mecânica de talhe da pedras, pois incorpora o projectar, planear e fasear de todo o conceito do edifício criado. A disciplina da estereotomia procura resolver três questões em cada projecto: o estudo da composição e distribuição mais adequada dos elementos discretos, condicionados por motivos mecânicos, geométricos, estéticos e práticos; o planeamento do talhe e da instalação mais eficiente dos elementos; e a representação das instruções de talhe e montagem dos elementos discretos através de elementos gráficos. Herdeira da arte, método e experiência construtiva arcaica e medieval de como cortar a pedra transmitida oralmente entre mestre e aprendiz *in situ*¹⁵², esta técnica encarrega-se em especial das estruturas arqueadas, como arcos, abóbadas e cúpulas, mas produz outras tipologias como paredes, escadas, trompas, etc. O material lítico, colocado a funcionar à compressão, não possui unicamente valor

150. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 112

151. Idem, p. 153

152. A dinâmica de transmissão oral degenerar-se-á e perder-se-á com o advento dos paradigmas de construção industrializada.



Fig. 159_Complexo de El Escorial, fachada sul

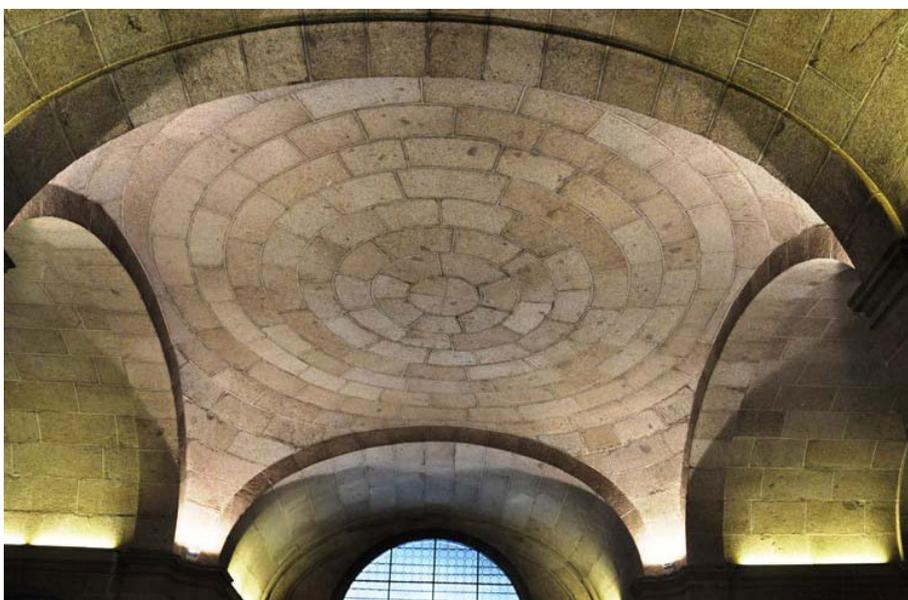


Fig. 160_Abóbada plana da entrada a Basílica, piso inferior ao coro alto da Basílica, desenhada por Juan de Herrera



Fig. 161_Abóbada da Câmara Municipal de Arles, desenhada por Jules Har-douin-Mansart

tectónico. A sua valência estrutural é paralela, em igual importância, à valência estética. O desenho estereotómico vive do charme inegável gerado pela conciliação da materialidade pétreia com a ordem e disciplina do rigor geométrico. As estruturas estereotómicas fascinam com a mais pura relação indissociável entre arquitectura e construção, onde num só elemento coincide material, forma, estrutura, técnica, estética e imagem.¹⁵³

Um dos primeiros projectos a beneficiar da pedra ‘pré-fabricada’ fora de obra é o grande complexo do Mosteiro de El Escorial, Espanha, construído entre 1559 a 1584. Não é só exemplo dos resultados benéficos da estereotomia com o aumento de velocidade da obra, como também ilustra a mestria e manipulação da pedra do século XVI com a entrada da basílica do mosteiro. O tecto apresenta-se como uma abóbada quadrada plana com um vão de aproximadamente 8 metros (7,81 m), mas que constitui parte do piso da coro acima. Quer o intradorso e extradorso são planos. Este objecto é um raro exemplo de uma ‘abóbada de arestas’ todavia o arco que a gera é um arco plano, o que resulta numa superfície maioritariamente plana. A abóbada possui apenas 285 mm de espessura na maioria do seu vão. Os esforços solicitados provocam uma deformação visível na pedra, e relatos afirmam que quem caminha no piso da capela superior sente a flexão elástica similar à sentida quando se caminha num piso de paus rolados. A abóbada em El Escorial demonstra a impressionante capacidade e potencial da estereotomia, ao levar elementos discretos de pedra a vencer um vão de oito metros horizontalmente. Todo o processo construtivo requereu uma grande aptidão para geometria, matemática e planeamento, inusual para a altura.¹⁵⁴

Um exemplo paradigmático das capacidades das estruturas estereotómicas é a solução de Jules Hardouin-Mansart para o vestíbulo da Câmara Municipal de Arles¹⁵⁵, executada pelo arquitecto e pintor local Jacques Peytret. Em 1673 a ousada proposta rivalizava com os projectos até então submetidos que propunham suporte central que reduzia o vão para dimensões mais modestas. Mansart demonstrou as virtudes da estereotomia do século XVII ao abobadar um espaço quase quadrado de 16 metros de lado sem suporte central, cuja flecha máxima não ultrapassa os 2,40 metros, num feito estrutural nunca antes visto. A clareza e rigor do desenho estereotómico é comprovado pela organização das linhas de pedra que denunciam a curvatura e arestas da complexa estrutura.¹⁵⁶

153. DEFILIPPIS, Francesco e MONTEMURRO, Michele. *L'architettura in pietra concia*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, pp. 27-29

154. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 153

155. Hôtel de ville d'Arles é projectado por Dominique Pilleporte, porém quando o concelho soube da presença de Jules Hardouin-Mansart na vizinhança da cidade, procurou o seu conselho. Jules Hardouin-Mansart é sobrinho-neto do arquitecto François Mansart, criador da característica tradição clássica francesa homónima da mansarda, e foi nomeado Arquitecto Chefe por Luís XIV em 1681 com um reportório de obras que incluem o Hôtel des Invalides e diversas reabilitações e acrescentos em Versailles.

156. PELLETIER, Hubert. *The stereotomy of complex surfaces in French Baroque architecture*. Publicado em: 11-06-2013. Consultado em: 31-09-2018. Disponível em: <https://archleague.org/article/the-stereotomy-of-complex-surfaces-in-french-baroque-architecture/>

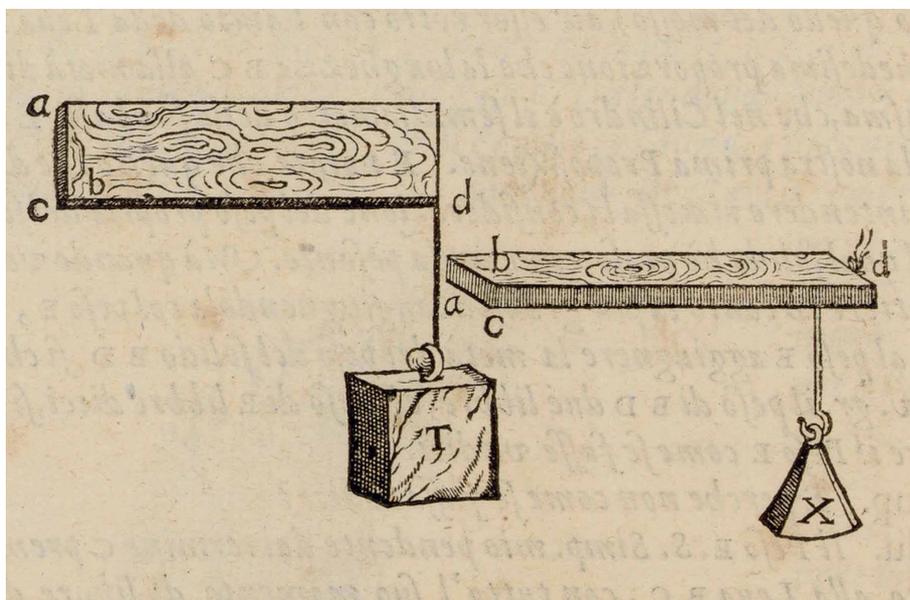


Fig. 162 Ilustração de *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali*, Galileo Galilei, 1638

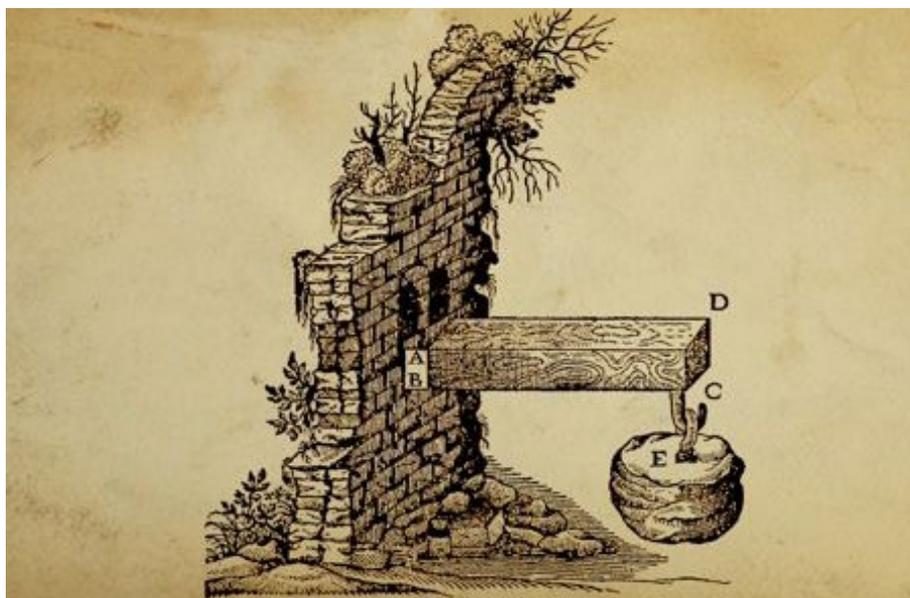


Fig. 163 Ilustração de *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali*, Galileo Galilei, 1638

1.6_Século XVII e XVIII: Iluminismo

Enquanto Inglaterra se actualizava com as técnicas usadas desde os séculos passados em França, Alemanha, Itália e Península Ibérica, a metodologia científica tornava-se paradigma para o estudo de qualquer área do saber. O sucesso dos estudos científicos dos séculos XVII e XVIII, preterindo o conhecimento empírico de tradição oral, estimulará um progresso intelectual reflectido principalmente pelo desenvolvimento das disciplinas da física, mecânica e ciência dos materiais.

As publicações do físico Galileu Galilei (1564-1642) são um marco na ciência dos materiais e do seu desempenho. Antes da Renascença, o desenho estrutural era abordado através de métodos empiristas, generalistas, derivados de observação e exemplos reais.

Embora Galileu não tenha sido o primeiro a abordar o tema, pois questões sobre dimensões de secções, vãos e resistência foram experimentadas desde os gregos e egípcios assim como abordadas por filósofos medievais e matemáticos renascentistas, é reconhecido como o primeiro a distinguir claramente entre a força do material e a força do objecto feito desse material. Pela primeira vez, considerava-se a diferença entre as qualidades de um material e as de uma estrutura – geometria e forma de funcionamento – constituída desse mesmo material. Ele iniciou o paradigma de pensamento actual no campo dos esforços como força por unidade de área, em vez de como uma força intrínseca do material bruto. A compreensão do funcionamento mecânico dos materiais desmistificou os axiomas empiristas da época, como a opinião que a força da corda é inversamente proporcional ao seu comprimento. Galileu apontou os reais motivos pela qual as cordas de maior comprimento eram mais propensas para um fraco desempenho. Ele denotou que a ‘fraqueza’ dos materiais decorria de pequenas secções e baixa qualidade intrínseca, como das fibras de uma corda. Quão mais longa a corda for, mais provável é a ocorrência de falhas no fabrico ou de qualidade inferior no material constituinte. A força da corda variará, mas tal não depende única e exclusivamente de uma relação directa com o seu comprimento. O uso progressivo da ciência como ferramenta de estudo e diagnóstico levou à consideração da sua potencialidade como ferramenta de previsão do mundo pela possibilidade de prever matematicamente o comportamento de um sistema estrutural.

Os séculos XVII e XVIII são caracterizados pela designação da

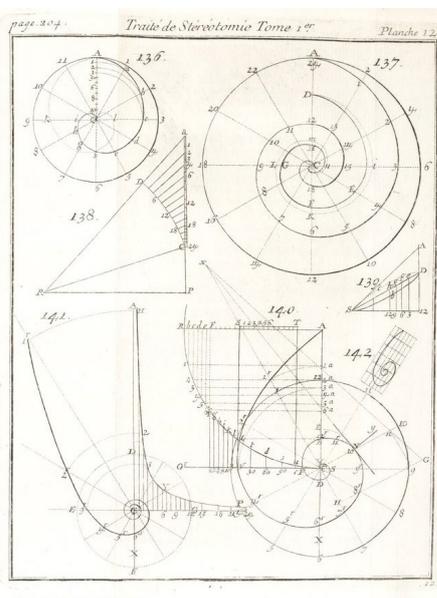
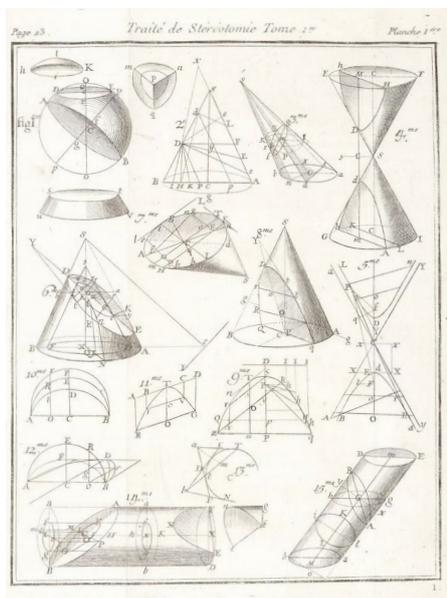


Fig. 164 Ilustrações de *La Théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils et militaires*, Amédée Frézier, 1737-1739

razão como fonte autoritária de validação conceptual e um forte clima de experimentação e promoção do ‘Conhecimento Natural’, ‘Nova Filosofia’, ou simplesmente ciência, base do movimento cultural e intelectual europeu do Iluminismo. Várias entidades e instituições são formadas para a aprendizagem, diligência e difusão de campos de saber polimáticos, como física, biologia, química, medicina, matemática, etc., assim como para elevar o estudo científico a uma actividade responsável. Exemplos destes institutos são a Accademia dei Segreti (Academia dos Segredos da Natureza), Nápoles, Accademia dei Lincei (Academia dos Linceus), Roma, Accademia degli Investiganti (Academia dos Investigadores), Nápoles, Accademia del Cimento (Academia da Experimentação), Florença, The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge (A Real Sociedade de Londres para o Melhoramento do Conhecimento Natural), Londres, e Académie des Sciences (Academia das Ciências), Paris.

O século XVIII é especialmente marcado pelo estudo do comportamento estrutural do arco. Os estudos de colapso utilizaram diagramas geométricos para representação de forças e movimentação das peças da estereotomia, procurando condições universais de estabilidade em cenários abstractos. O estudo de exemplos reais era preterido pelo estudo matemático, geométrico e conceptual dos problemas e soluções. Este paradigma intelectual é o embrião dos modelos físicos e matemáticos da análise estrutural actuais.¹⁵⁷

O desenvolvimento da construção é implícito ao desenvolvimento científico, pois a história do uso da pedra revela-se uma abordagem ao desenvolvimento científico, geométrico e estereotómico do saber humano. Estas disciplinas permitem a expansão, ou descoberta, das capacidades e utilizações do material lítico.

Um dos mais notórios escritores sobre o tema é Amédée Frézier (1682-1773) com a publicação da clássica trilogia sobre o entalhe da pedra, *La Théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils et militaires*, entre 1737 e 1739. Este texto tornou-se obrigatório e normativo nas escolas de engenharia militar por toda a França, onde aborda geometrias em duas e três dimensões no abstracto, a construção geométrica necessária para gerar abóbadas oblíquas, de dupla curvatura, helicoidais ou intersecções entre elas e considerações sobre o formato dos elementos discretos constituintes para gerar esse tipo de estruturas. O trabalho de Frézier é a compilação do trabalho

157. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, pp. 189-197

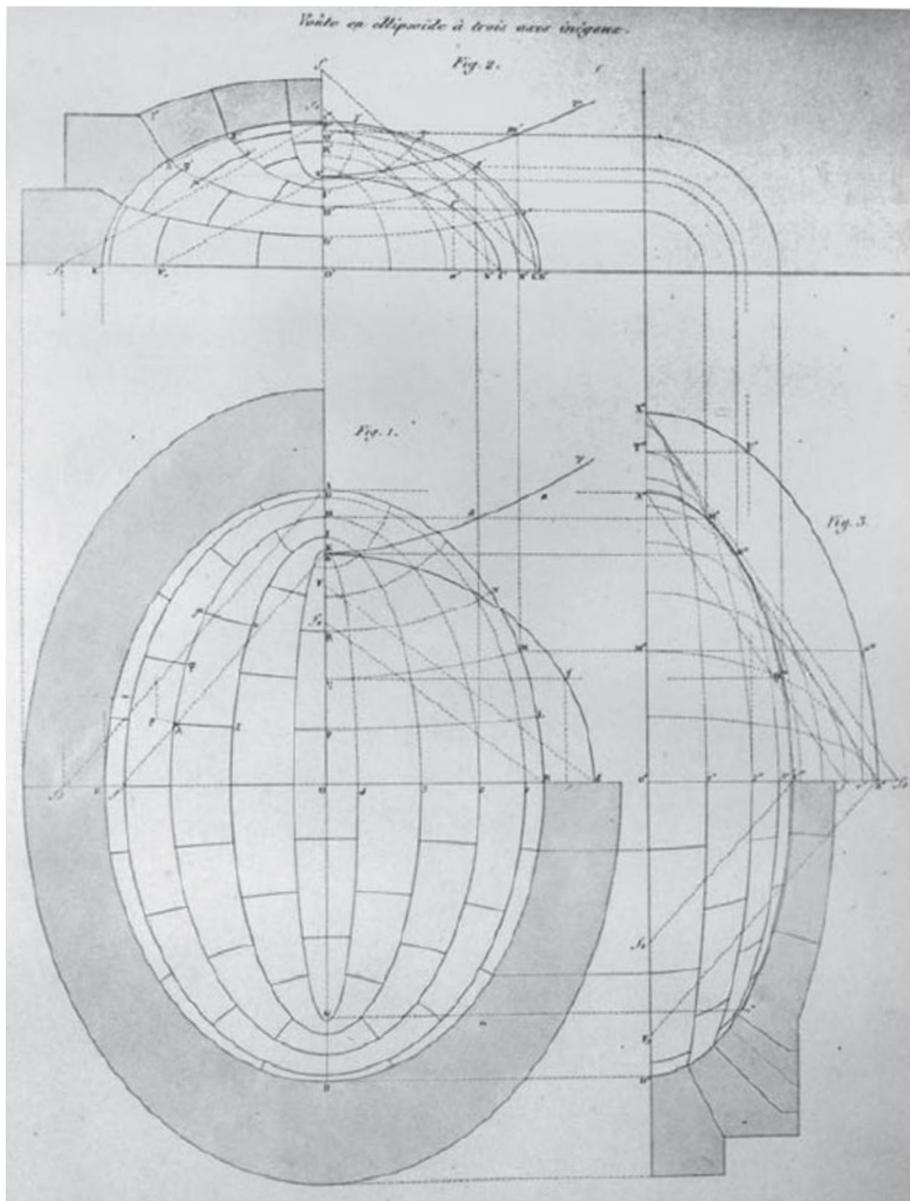


Fig. 165 Representação em método de Monge de uma abóbada elipsoidal estereotômica (sem argamassa), por Gaspard Monge



Fig. 166 Operário a verter ferro fundido em moldes de areia

desenvolvido no campo da geometria e arquitectura em pedra durante os séculos anteriores. O seu trabalho elevou a técnica da estereotomia a ciência de aplicação generalizada e portanto tornou-se um marco na história da pedra.¹⁵⁸ Outra grande revolução, oriunda de um engenheiro militar francês, foi a capacidade de determinar a verdadeira grandeza de elementos fora do plano do papel, na terceira dimensão: a Geometria Descritiva, ou Método de Monge, de Gaspard Monge (1746-1818). A principal característica e vantagem desta técnica de representação era a possibilidade de construir geometricamente uma terceira vista, a partir de qualquer dois planos ou secções do objecto reduzindo horas de trabalho dantes necessárias. Qualquer objecto tridimensional poderia ser representado em duas dimensões e qualquer das suas grandezas poderia ser determinada com rigor. O poderoso método permitia determinar o ponto rigoroso de intersecção entre duas linhas ou qualquer traço entre dois objectos e claramente ganhou relevância militar no desenho de fortificações e manipulação de terrenos. Apesar de a técnica ter sido retida de publicação durante três décadas, devido ao secretismo militar, no século XIX a Geometria Descritiva difundiu-se pelo mundo, revolucionando o pensamento abstracto tridimensional e o desenvolvimento da construção, estruturas e arquitectura.¹⁵⁹

O período do Iluminismo marcou a construção pelo desenvolvimento intelectual e curiosidade científica assentes em lógicas universais que fundaram as bases sólidas para o progresso dos séculos seguintes. O desenvolvimento da geometria para determinação de verdadeiras grandezas, o estudo das forças internas por diagramas vectoriais, as bases de dados reunidos por múltiplos testes aos materiais existentes e a criação de modelos matemáticos para a previsão do comportamento estrutural são a herança que basearão e permitirão a evolução da construção e dos novos materiais dos séculos seguintes.

1.7_Século XIX: Revolução Industrial

Embora a onda de investigação científica não tenha estimulado uma explosão construtiva, o progresso intelectual gerado será vital para a introdução e manipulação de um ‘novo’ material, um que não possuía uma longa história de desenvolvimento e exaustiva experimentação e que desencadeará uma profunda transformação do paradigma construtivo e arquitectónico. Esse material foi o ferro. Apesar do ferro forjado ter sido utilizado durante séculos, a fundição do metal é uma inovação

158. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 225

159. Idem, p. 244-245



Fig. 167_Cozinha do Mosteiro de Alcobaça com uma colunata de ferro fundido



Fig. 168_Estrutura de ferro fundido, 1850, a suportar a cobertura da sala de leitura da Bibliothèque Sainte-Genève, Paris



Fig. 169_Le Carreau du Temple, Paris. Uma construção em ferro e vidro de 1863 que substituiu uma anterior em madeira, ilustrando a arquitectura da época da Revolução Industrial

mais recente devido à necessidade de fornos de altas temperaturas, que iniciara a presença do ferro fundido¹⁶⁰ em estruturas como colunas em meados do século XVIII, quando este atinge um nível de produção que permitiu a sua utilização em objectos de grandes dimensões, apesar dos custos mais elevados do que uma estrutura equivalente em pedra ou madeira. É, de novo, o desenvolvimento militar, neste caso naval e os seus canhões, a propulsionar a evolução científica, nomeadamente, da indústria metalúrgica. Um dos primeiros exemplos de colunas de ferro fundido a suportar vigas de ferro forjado é de 1752, na cozinha do Mosteiro de Alcobaça, Portugal, para suportar a chaminé central em alvenaria. Isto pode ser explicado pela proximidade do Mosteiro ao arsenal da marinha portuguesa e a riqueza da ordem cisterciense à qual o Mosteiro pertence. Apesar da coexistência da pedra, madeira e tijolo com o ferro, a experimentação com o metal levará a uma lenta preterição estrutural dos outros materiais.¹⁶¹

Por volta de 1830, o uso do ferro estrutural em edifícios industriais, como moinhos e armazéns, estava normalizado. O ferro fundido era utilizado nas colunas e o ferro forjado nas asnas ou treliças das coberturas. Todavia, todos os revestimentos e paredes exteriores desses edifícios permaneceram em alvenaria de pedra ou tijolo, devido à sua capacidade de proteger contra o clima, ser resistente ao fogo, e travarem a estrutura metálica interna, cujas lógicas de contraventamento, como tirantes diagonais, foram transpostas do seu antecessor, as estruturas em madeira.¹⁶²

Só a partir de 1870 é que a estrutura metálica se tornou uma solução aceitável para qualquer edifício, desde industrial a público, desde bancos a bibliotecas, galerias de arte a igrejas. O ferro tornou-se tão familiar para o público em geral como a construção tradicional em alvenaria, principalmente graças às gares e estações de comboios, já que em 1860, barcos a vapor e vias férreas transportavam pessoas, bens e ideias entre países e à volta do mundo em questão de semanas. Mas um novo produto aproximava-se lentamente, derivado da evolução da indústria de fundição do ferro, o aço. Inicialmente, apesar de a sua produção tornar-se sucessivamente mais barata, com melhorias substanciais na qualidade, as suas primeiras utilizações limitaram-se à substituição do ferro forjado em vias férreas e fornalhas de locomotivas a vapor. O aço não substituiu rapidamente o ferro na construção pois corroía mais depressa quando exposto ao ar e ainda mais rápido quando exposto a água salgada. Só em 1870 foi utilizado num edifício, em

160. A principal diferença entre ferro forjado e ferro fundido é o tratamento térmico que recebem. O ferro forjado é conformado por recurso ao seu aquecimento, geralmente numa forja, para depois ser prensado ou martelado na forma pretendida. Por contraste, o ferro fundido é uma liga que foi deixada arrefecer depois de derretida e colocada num molde. O ferro fundido possui uma pequena taxa de carbono enquanto o forjado aproxima-se bastante do ferro puro.

161. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, pp. 245-247

162. Idem, p. 350

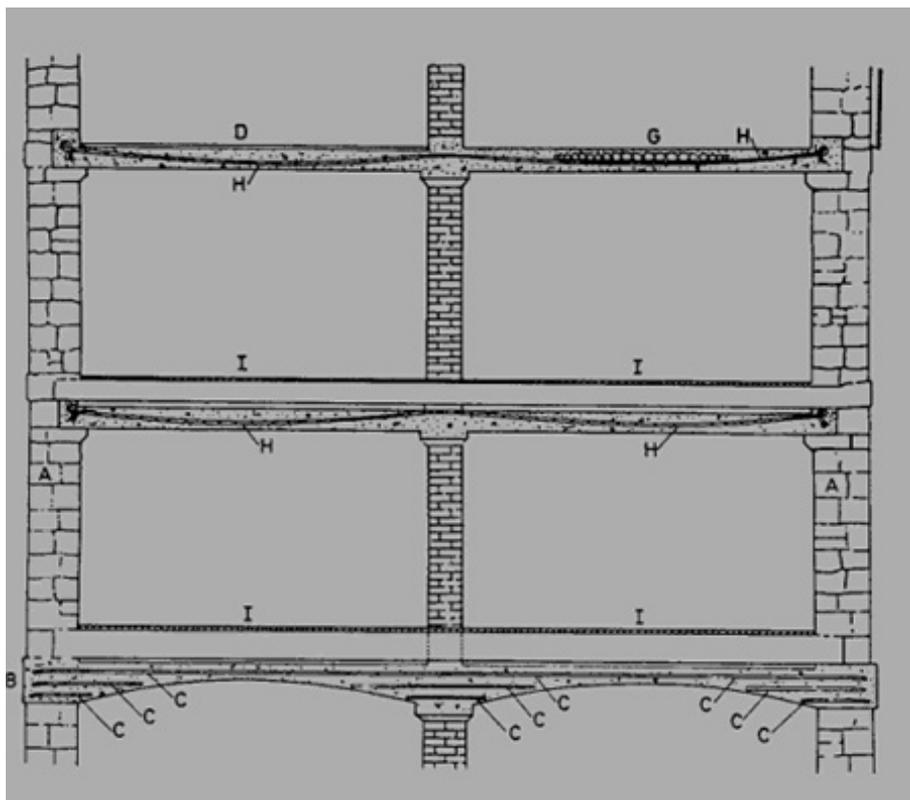


Fig. 170_Corte construtivo de uma casa de criados com dois andares. Utilização de lajes de cimento reforçado com barras de ferro e malha-sol resultando num dos primeiros edifícios de betão armado. Projectado por W. Wilkinson of Newcastle, 1854. Wilkinson patenteou o cimento reforçado como técnica de protecção dos edifícios contra incêndios



Fig. 171_CIAM VI, 1947, Bridgwater, Somerset. Fotografia de grupo dos participantes, incluindo Le Corbusier, Walter Gropius, Erno Goldfinger, Maxwell Fry, Jane Drew, e Wells Coates

formato de vigas, e estas foram protegidas do exterior para evitar os elevados custos de as revestir e isolar.¹⁶³

A ineficiência das áreas de secção dos elementos estruturais em alvenaria rapidamente se tornaram inaceitáveis. A área ocupada pelas colunas maciças interiores, necessárias para vencer vários pisos, foram substituídas por colunas metálicas de ferro. Posteriormente também assumiram papel estrutural nas fachadas, ao suportar as vigas das lajes. Desprovidas de função estrutural, as espessuras das alvenarias reduzem pois passam a ser utilizadas como revestimento que suportam unicamente o peso próprio.¹⁶⁴

A divulgação estrutural do ferro e a lenta introdução do aço foram acompanhados pela exploração do betão armado. Desde 1750, o cimento hidráulico havia sido estudado e utilizado na generalidade de fundações como substituto da madeira ou pedra. Inicialmente o betão foi considerado apenas para sistemas de protecção contra o fogo em estruturas em aço ou ferro, todavia a sua normalização levou a logo em 1880 surgir em colunas, vigas e lajes.¹⁶⁵ Com o advento do século XX, as profundas transformações sociais inerentes à Grande Guerra, e a reforma cultural construtiva e arquitectónica do Movimento Moderno diminuirão o peso da pedra como estrutura, como símbolo, como técnica, e como tradição, face à ascensão dos ‘novos’ materiais.

1.8_Século XX: Movimento Moderno

Os horrores da Primeira Guerra Mundial instalaram um sentimento de desilusão para com a cultura europeia e um desejo de transformação social. Os jovens arquitectos acreditaram que a arquitectura seria a ferramenta dessa transformação, especialmente, se guiada por um pensamento racional, económico e funcional, a fim de estimular uma eficiência similar às maravilhas do mundo industrial e mecânico.¹⁶⁶ Um produto dos movimentos culturais de transição entre os séculos XIX e XX, como Art Nouveau, Cubismo e Art Deco, o Movimento Moderno é um fenómeno rico e múltiplo, que incorpora diversas escolas e ideologias como o Construtivismo Russo ou o Bauhaus na Alemanha. Apesar da internacionalidade deste movimento com as suas manifestações regionais próprias, os seus pontos de convergência discutidos nos CIAM (Congresso Internacional de Arquitectura Moderna) levaram à percepção pejorativa de um Estilo Internacional, de elementos exaustivamente copiados, e erroneamente

163. ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007, p. 378 e 382

164. Idem, p. 388

165. Id., p. 418

166. MOFFETT, Marian; FAZIO, Michael e WODEHOUSE, Lawrence. *A world history of architecture*. London: Laurence King, 2003, p. 475



Fig. 172_Villa Müller, Adolf Loos, Praga, 1930. Considerado um marco do início do Movimento Moderno pela sua simplicidade e abordagem projectual



Fig. 173_Bauhaus, Walter Gropius, Alemanha, 1925. O edifício não só representa uma afirmação arquitectónica como também uma mudança intelectual e paradigmática do ensino e produção de arquitectura devido ao programa escolar desenvolvido por Gropius que terá enorme impacto na utilização dos materiais modernos, na estética funcionalista e na procura da inovação gerada pela industrialização



Fig. 174_Contribuição de Le Corbusier e Pierre Jeanneret para a exposição de arquitectura moderna coordenada por Ludwig Mies van der Rohe em Weissenhofsiedlung de Stuttgart, 1927. As obras desenvolvidas por todos os participantes tornar-se-iam referência para o Movimento Moderno

representante de todo o Movimento Moderno. Todavia, a arquitectura moderna pretendia unicamente revolucionar a vida moderna, quer pela salubridade ou pelo desenvolvimento de sistemas flexíveis, modulares e de rápida construção.¹⁶⁷ A nova linguagem tecnológica e arquitectónica da época, na sua génese, comunica-nos uma revolução dos materiais, onde ferro, aço, vidro e betão armado figuram como protagonistas.¹⁶⁸

A reformava do paradigma arquitectónico manifestou-se pela ruptura radical com a História, através do descarte da tradição simbólica e tecnológica, uma forte dialéctica presente na pedra que a leva a uma crise no início do Movimento Moderno. Rejeita-se a pedra pelo seu valor simbólico em detrimento de uma nova ‘religião’ utilitarista, um paradigma conceptual que visa unicamente o útil. Todas as conexões com o elitismo, com o popular, com a tradição e a história, são quebradas para desenvolver uma nova identidade e desenvolver uma ‘nova tradição’ que se adequa às novas realidades. Esse distanciamento todavia condenou essa nova arquitectura a um elitismo inesperado. O valor técnico da pedra também a sentenciou à rejeição em detrimento de uma nova ideia de arquitectura, cuja realização técnica não estava direccionada para a perpetuação da obra, na sua duração para além da geração que a criara. O papel de cada geração deixara de ser estudar os seus antecessores mas antes construir uma arquitectura do seu tempo.¹⁶⁹ O carácter de perenidade, de antiguidade e tempo petrificado foi incompatível com a reforma do Movimento Moderno levando à exclusão deste material do arsenal construtivo e arquitectónico.

A estagnação da pedra como material de construção deveu-se em parte à sua limitação económica face às necessidades reconstrutivas do primeiro pós-guerra, nomeadamente, os preços, variedade e facilidade de instalação dos materiais rivais. A pedra não conseguiu responder ao impulso construtivo do primeiro pós-guerra onde o Movimento Moderno intencionava implantar a sua reforma, o que marcou substancialmente a reputação do material como inapropriado, especialmente na sua forma tradicional¹⁷⁰. A tecnologia evoluiu de forma a acelerar o processo construtivo, evidenciado pela construção urbanística e habitacional do segundo pós-guerra. A aceleração foi obtida também preterindo a pedra pelos materiais novos e industriais. É claro o porquê dos materiais de construção, oriundos de produção industrial, suplantarem os materiais pétreos como mármore e granito. O mercado frugal, mesurado, capitalista (ou mesmo o comum ‘sovina’) viu os produtos pétreos economicamente inviáveis face aos competidores simplesmente mais

167. COOKE, C. e SHARP, D. (eds.). *The modern movement in architecture: selections from the DOCOMOMO registers*. Rotterdam: 010 Publishers, 2000, p. 11

168. POTENZA, D. *La pietra: Un nuovo Rinascimento nella cultura dei materiali*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 13

169. LUIGI, Cavallari. *Pietra*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 7

170. RAGONE, Marcantonio. *Tecnologie e nuove tendenze*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 41



Fig. 175_(esq.) Igreja de Nossa Senhora do Rosário de Fátima, Pardal Monteiro, fachada após conclusão da obra em 1938 . Exemplo incontornável do modernismo nacional

Fig. 176_(dto.) Igreja de Nossa Senhora do Rosário de Fátima (2016), Pardal Monteiro, 1938

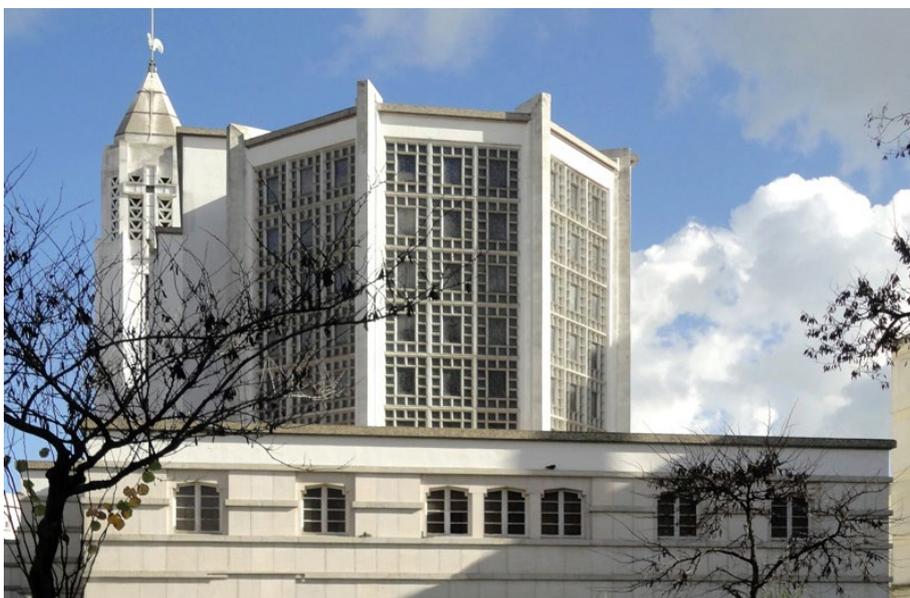


Fig. 177_Pormenor da abside da Igreja de Nossa Senhora do Rosário de Fátima, Pardal Monteiro, 1938

baratos e que satisfaziam os novos impulsos estéticos, tal como adaptar-se à modernidade da época. Sem uma grande demanda pelo produto, a lei da oferta e procura manifestou-se, e tornou a pedra escassa e as suas possibilidades limitadas no mercado construtivo.¹⁷¹ Outra limitação da pedra colidiu com as novas preocupações de segurança do pós-guerra. Os vastos incêndios educaram sobre a resistência ao fogo dos diversos tipos de alvenaria (consoante os revestimentos). A pedra natural ficou aquém comparativamente ao tijolo cozido e até às paredes de alvenaria revestidas a gesso. As pedras duras como o granito, estalam e fendem, soltando fragmentos laminares por efeito do fogo. Este efeito agrava-se com o impacto da água de extinção decorrente das dilatações térmicas súbitas. A espessura sem dúvida revelou-se um factor decisivo já que peças de pouca espessura, como patamares de escadas, desintegraram-se, mas muros e paredes de grande espessura resistiram ao fogo graças à sua inércia térmica.¹⁷²

Devido à complexidade e multiplicidade do tema do Movimento Moderno, apresenta-se sucintamente o caso português cuja evolução da arquitectura no século XX demonstra as vicissitudes do final do milénio como a procura de uma identidade própria após as experiências racionalistas das primeiras décadas.

O poder comunicativo da arquitectura é solicitado pelo regime português para representar os seus valores e virtudes, uma estratégia que leva à criação do Secretariado de Propaganda Nacional em 1933, sob a liderança (controlada) de António Ferro. O estado português procura fortalecer a sua imagem e reforçar o seu poder, enquanto combate grande parte dos problemas do desemprego decorrente da crise mundial, através de um vasto programa de obras públicas. Duarte Pacheco, Ministro das Obras Públicas no primeiro governo presidido por Salazar, demonstra a mesma tendência de Ferro e, numa primeira fase, utilizarão a imagem moderna e os novos arquitectos para materializar as intenções do Estado Novo, cujos valores supostamente abrangiam tanto valências históricas e permanentes tal como as jovens e experimentais. As propostas de inovação técnica, programas e estruturas arrojadas assim como uma estética coerente com a verdade dos materiais e funções, reflexo do modernismo internacional racionalista, são aceites. A década de 30, no caso português, apresentará uma coexistência heterogénea entre o conservadorismo latente e a expressão formal dos movimentos europeus.¹⁷³

É com os projectos da Igreja da Nossa Senhora do Rosário de

171. TENAGLIA, Antonio. *Il ruolo dei materiali apidei in architettura*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 59

172. SCHMITT, Heinrich. *Tratado de construcción: elementos, estructuras y reglas fundamentales de a construcción*. 6ªed. aumentada, Barcelona: Gustavo Gili, 1978, p. 71

173. FERNANDEZ, Sérgio. *Percurso: arquitectura portuguesa: 1930-1974*. 2ª edição, Porto: Faup Publicações, 1988, pp. 16-19



Fig. 178 Liceu de Beja, actualmente Escola Secundária Diogo de Gouveia, Cristino Silva, 1931, é caracterizado por uma grande simplicidade cuja expressividade vive da articulação de volumes e desenho de linhas numa composição assimétrica



Fig. 179 Villa Le Sextant (Casa de Les-Mathes), Le Corbusier, 1935. Constitui um exemplo da pedra autóctone estrutural num projecto moderno



Fig. 180 Pavilhão de Honra e da Cidade de Lisboa, Luís Cristino da Silva, Exposição do Mundo Português (lado oriental), 1940

Fátima, de Pardal Monteiro, 1938, anteriormente amplamente elogiada pelo próprio Cardeal, e Liceu de Beja, de Cristino da Silva, 1931, cujas críticas apontavam o dedo ao quão o seu desenho é inadequado para o clima alentejano, completamente desconecto das características do sítio, da sociedade e da própria indústria construtiva local, que o Estado Novo contestará as decisões de Ferro e Pacheco e ‘apelará’ aos arquitectos a substituição do vanguardismo do Movimento Moderno por lógicas estéticas e culturais de uma verdadeira arquitectura portuguesa que se adapte à região, todavia marcado por um discurso forçadamente nacionalista e historicista. Ferro acabará por ser afastado do cargo e Pacheco apresentará um profunda mudança de atitude.¹⁷⁴

Entretanto, um dos mestres do moderno, Le Corbusier, apresenta-nos duas obras concretizadas por materiais tradicionais, nomeadamente, os pétreos. A Villa Mandrot, 1934, e a Villa Le Sextant (Casa de Les-Mathes), 1935, exibem volumes de desenho moderno, onde os grandes envidraçados são conciliados com paredes de alvenaria de pedra estrutural, elegantemente plantados no terreno tirando partido da paisagem. A pedra apresenta-se verdadeira e simples, remanescente da corrente Brutalista que surgirá apenas anos mais tarde, enquanto o compromisso entre materiais (pedra e betão) e lógicas de desenho tradicional e moderno assimila o progresso da arquitectura portuguesa.

Apesar da neutralidade portuguesa durante a Segunda Guerra Mundial, esta revelou-se rica de referências ao regime português. A arquitectura acompanhará os ‘apelos’ do regime, onde a Exposição do Mundo Português, de 1940, é um importante marco dessa nova fase. O abandono da linguagem moderna e a adopção de um vocabulário pretensamente nacionalista e monumental, de eixos e volumes acentuados, desenvolve-se rapidamente. Todavia, esta transição não é acolhida por alguns dos arquitectos, que defendem um compromisso entre a linguagem moderna e um verdadeiro vocabulário arquitectónico tradicional português, e não um simples e pretensioso apinocar ornamental mistificado.¹⁷⁵

A Exposição do Mundo Português é mais do que uma comemoração dos valores ditos portugueses, com forte aposta na exaltação da ruralidade e enaltecimento monumental de atributos e figuras históricas, é a celebração dos Centenários (1140 e 1640, Fundação e Restauração da Independência respectivamente), é afirmação da estabilização do regime, e é a constatação de uma (ideia de) linguagem nacionalista. Os modelos da produção arquitectónica são estabelecidos

174. FERNANDEZ, Sérgio.
Percurso: arquitectura
portuguesa: 1930-1974.
2ª edição, Porto: Faup
Publicações, 1988, p. 25

175. Idem, p. 27

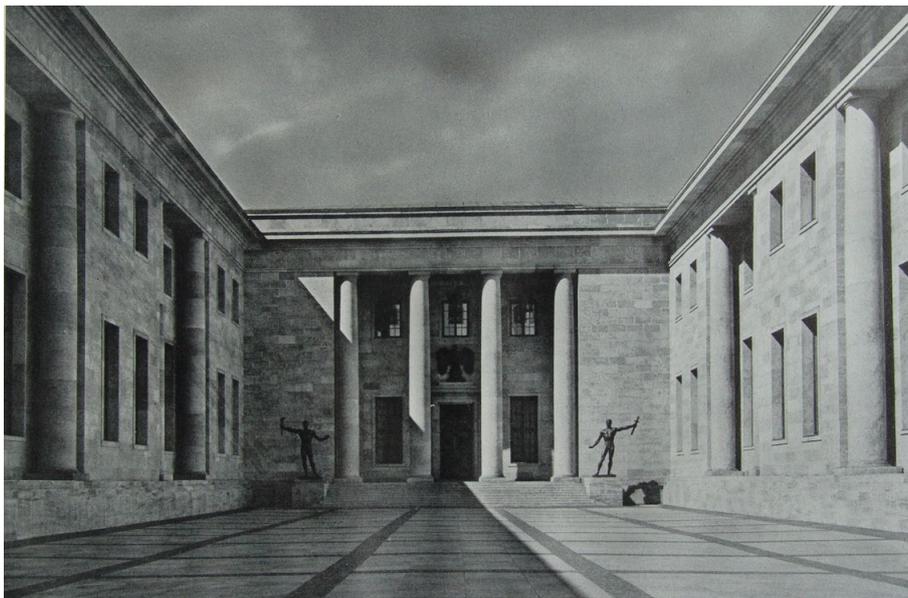


Fig. 181 Imagem do catálogo da Exposição “Moderna Arquitectura Alemã” promovida pelo arquitecto Albert Speer



Fig. 182 Portugal dos Pequenitos, Cassiano Branco



Fig. 183 Portugal Monumental, Museu do Traje, Portugal dos Pequenitos. É possível ler uma colagem de símbolos e elementos arquitectónicos de diversos monumentos nacionais, tais como a Torre dos Clérigos e a arquitectura românica

a partir da década de 40. Outras exposições internacionais alimentaram e influenciaram a nova linguagem portuguesa, como a exposição de arquitectura do III Reich “Moderna Arquitectura Alemã”, de 1941, que demonstra o poder comunicativo (de propaganda) da arquitectura. A exposição de Roma, de 1942, é igualmente marcante pois fomentará soluções classicista. O sentimento é inegável. A ideia de austeridade, adopção dos materiais nobres, preterição de materiais, ferro (estrutural) e betão armado, marcam estas exposições. O respeito pelo material pétreo e o desprezo pelo betão iguala-se ao louvor do trabalho manual contra o desdém do da máquina. É a pedra que dará a eternidade aos monumentos, pois como já exposto, o seu carácter eterno petrificará os valores que se expõem. A procura de um vocabulário popular, tradicional, ‘verdadeiramente português’, leva à realização de uma série de obras durante a década de 40, cujo Portugal dos Pequenitos, Coimbra, de Cassiano Branco, é um exemplo paradigmático. A ideia de um Portugal, continental, insular e ultramar, é reproduzido à escala da criança, claramente exaltando os valores da história, da pátria e outros elementos simbólicos de identidade regional, como alpendres, beirados, azulejos, telhados, ferros forjados, cantarias, etc. O encarecimento de certos materiais provocado pelo início da segunda Guerra Mundial, impediu a sua vulgarização assim como incentivou ao uso dos materiais locais e à procura de uma ideia de regionalismo e adaptação ao sítio. Exemplos disto são as pousadas desenvolvidas no programa das pousadas do Estado Novo da década de 40, onde são utilizados sempre os materiais locais, com ênfase na pedra e madeira, e exibem uma cuidadosa integração ao terreno e paisagem.¹⁷⁶

Keil de Amaral é a principal figura crítica à arquitectura do regime português, defendendo que uma verdadeira expressão regional arquitectónica deve resultar das circunstâncias e lógicas que moldaram uma região e do simples acto de revestimento ornamental. Ele procura um racionalismo desprovido da frieza dos modelos modernos, autentico ao local onde se insere, moldado pelas lógicas deste. Keil de Amaral procura um compromisso que precisa de ser enraizado na verdadeira identidade das regiões de Portugal, razão pela qual, parte dele a ideia de um inquérito à arquitectura popular portuguesa. Ele lança a ideia na revista *Arquitectura*, 1947, num artigo intitulado *Uma Iniciativa Necessária*, que defendia a recolha e classificação dos elementos que verdadeiramente compõem a arquitectura portuguesa e assim formar uma base teórica de suporte para todos os profissionais. Esta ideia teria

176. FERNANDEZ, Sérgio.
Percurso: *arquitectura*
portuguesa: 1930-1974.
2ª edição, Porto: Faup
Publicações, 1988, pp. 29-38



Fig. 184 Unité d'Habitation de Marseille, Le Corbusier, 1952, é caracterizado pela utilização de duplex cruzados, pela conjugação de 23 tipologias de fogos e um conjunto de serviços. Constitui um marco da arquitectura e urbanismo moderno como forma de construir dinâmicas da vida social



Fig. 185 Escola de Hunsington, Smithsons, 1949. A estrutura metálica negra e o tijolo creme não constituem apenas estrutura, mas também expressão plástica directa

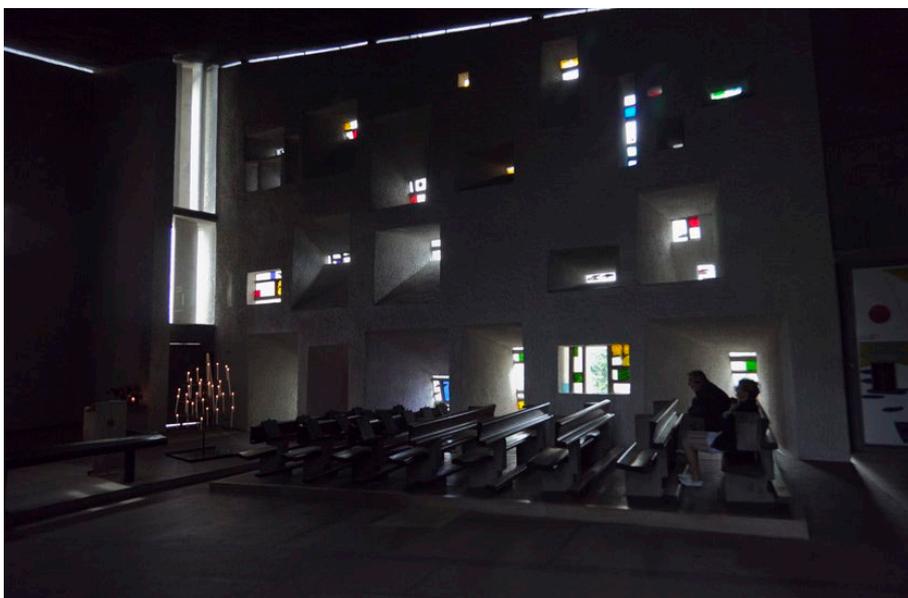


Fig. 186 Notre Dame du Hatre, Ronchamp, Le Corbusier, 1950, interior. O jogo de luz e cor confere à obra uma poética única de um espaço religioso

que aguardar cerca de dez anos até se concretizar.¹⁷⁷ No mesmo ano, é publicado nos *Cadernos de Arquitectura* um importante ensaio que partilha o mesmo sentimento de compromisso e necessidade de estudo da realidade portuguesa para fundamentar uma produção moderna de arquitectura. *O Problema da Casa Portuguesa*, de Fernando Távora, identifica-se com a posição dos profissionais que se focam na conquista do direito a uma arquitectura informada pelos movimentos internacionais mas fundamentada pelas lógicas da verdadeira arquitectura portuguesa.¹⁷⁸

Apesar do fim da Guerra, Portugal continuará num estado de isolamento internacional, endurecendo as suas posições face aos modelos exteriores. Todavia, a esperança renovada dos que acreditam na luta pelo progresso e no direito a uma arquitectura moderna, alimentada pela movimentação de conhecimento quer por viagens ou por publicações estrangeiras, apresentará frutos. Enquanto a Europa se reconstrói e lida com o complexo problema habitacional de realojamento de uma vasta população e reestruturação da vida quotidiana, obras notáveis são desenvolvidas, como a intervenção pontual de Le Corbusier, da Unidade de Habitação, Marselha, 1947-52, ou a casa Farnsworth de Mies van der Rohe, Illinois, 1952. Estas obras influenciarão quer tipologicamente, quer formalmente, os novos caminhos da nova arquitectura da década de 50. Os novos modelos, os novos problemas e as novas soluções quebram as barreiras do isolamento nacional e permeiam nas referências dos arquitectos portugueses.¹⁷⁹ Exemplo deste fenómeno é a publicação da Carta de Atenas em 48 na revista *Arquitectura*, tal como a discussão por arquitectos portugueses de temas levantados nos CIAM, como por exemplo o alojamento das classes operárias.¹⁸⁰

As obras de Corbusier começam a influenciar as obras de transição da década de 40 e 50, com o exemplo da escola de Hunstanton, dos Smithson, 1949, cuja expressão plástica remanescente de Mies van der Rohe é obtida com técnicas menos sofisticadas, com uma pureza de pormenorização e uso dos materiais, que revela o início da corrente brutalista manifestada internacionalmente no fim dos anos 50. A capela de Ronchamp, de Le Corbusier, 1950, é um importante marco da sua produção assim como exemplo de uma racionalidade expressiva, obtida por volumes orgânicos e jogos de luz e cor que conferem à arquitectura uma poesia própria. A década de 50 é marcada também pelo desenvolvimento da arquitectura de Alvar Aalto, uma referência para a arquitectura portuguesa, pela sua ‘racionalidade autêntica’, de

177. FERNANDEZ, Sérgio.
Percurso: arquitectura portuguesa: 1930-1974.
2ª edição, Porto: Faup
Publicações, 1988, p. 45

178. Idem, p. 55

179. Id., p. 46-47

180. Id., p. 58



Fig. 187 Câmara de Säynätsalo, Alvar Aalto, 1951. Utiliza técnicas construtivas locais para materializar volumetrias de expressão moderna, contudo, dentro de escalas e organização de espaços fundamentados na lógica finlandesa



Fig. 188 Igreja Paroquial de Águas, Nuno Teotónio Pereira, 1953. Fachada principal e torre sineira. Toda a obra se materializa com uma alvenaria de granito, mesmo quando se apropria de formas de expressão moderna, coerente com a técnica construtiva local



Fig. 189 Igreja Paroquial de Águas, Nuno Teotónio Pereira, 1953, interior e altar. A materialidade pétrea com cantos de grandes silhares domina o espaço interior

compromisso entre arquitectura moderna e as técnicas construtivas, escalas e dimensões locais.¹⁸¹

Um exemplo português da consciência do local com um claro compromisso entre a tradição e as formas modernas é a Igreja Paroquial das Águas, projectada por Nuno Teotónio Pereira, 1953. A fachada da igreja é um exemplo paradigmático do compromisso procurado pelos profissionais portugueses, onde o granito materializa uma grelha de desenho moderno. A grelha, um elemento formal divulgado pelo “Estilo Internacional” e sobretudo presente na arquitectura brasileira, é transmutada de betão para granito maciço, estrutural, em coerência com a restante materialidade da obra e das lógicas construtivas vernáculares da povoação que a rodeia. O compromisso tecnológico e intelectual recria com uma grelha, de forma moderna e técnica tradicional, jogos de luz similares às rosáceas das catedrais e igrejas, quer formais quer simbólicos, pela sua posição marcada na fachada.¹⁸²

A alteração das dinâmicas da produção arquitectónica, caracterizante da década de 50, é ilustrada pelas sucessivas divergências internas nos CIAM, a autoridade das normas arquitectónicas e urbanísticas das últimas duas décadas. O décimo CIAM, 1956, marcará a história da arquitectura com a formação da Team X numa posição de clara crítica ao Movimento Moderno, aos seus princípios redutores de rigidez formal e sectorização, à sua escala desumana, e ao seu desajuste às dinâmicas da verdadeira vida quotidiana social.¹⁸³

A reacção do regime face à modernidade torna-se menos ríspida, todavia permanece acutilante para obras de consagração de figuras históricas ou exaltação de valores nacionalistas. A voz que apela por uma arquitectura que corresponda às novas realidades, de compromisso moderno mas raízes lógicas locais, ganha força e é ouvida. Em 1955, Keil de Amaral, original orador do sentimento, viu o seu apelo respondido com apoio económico do Estado Novo que paradoxalmente procurou a confirmação de uma arquitectura nacional e universalista ‘mística’ no que foi um estudo sério da produção arquitectónica espontânea do País e das suas lógicas orgânicas e técnicas construtivas tradicionais consonantes com as condições do local. O Inquérito à Arquitectura Popular Portuguesa será publicado em 1961 constituindo um marco na produção arquitectónica do país não só pelos fundamentos finalmente identificados, mas também pela exploração da sociologia como ferramenta da arquitectura e do urbanismo.¹⁸⁴

A influência do Inquérito manifesta-se nas obras dos seus

181. FERNANDEZ, Sérgio.
Percurso: arquitectura portuguesa: 1930-1974.
2ª edição, Porto: Faup Publicações, 1988, p. 89-90

182. Idem, p. 143-144

183. Id., p. 93-94

184. Id., p. 106-115



Fig. 190_ Pavilhão de Ténis, Fernando Távora, 1958. O muro e pilares de granitos, a guarda e a viga em betão, as asnas em madeira e as paredes rebocadas formam um simples volume rico de detalhe e identidade

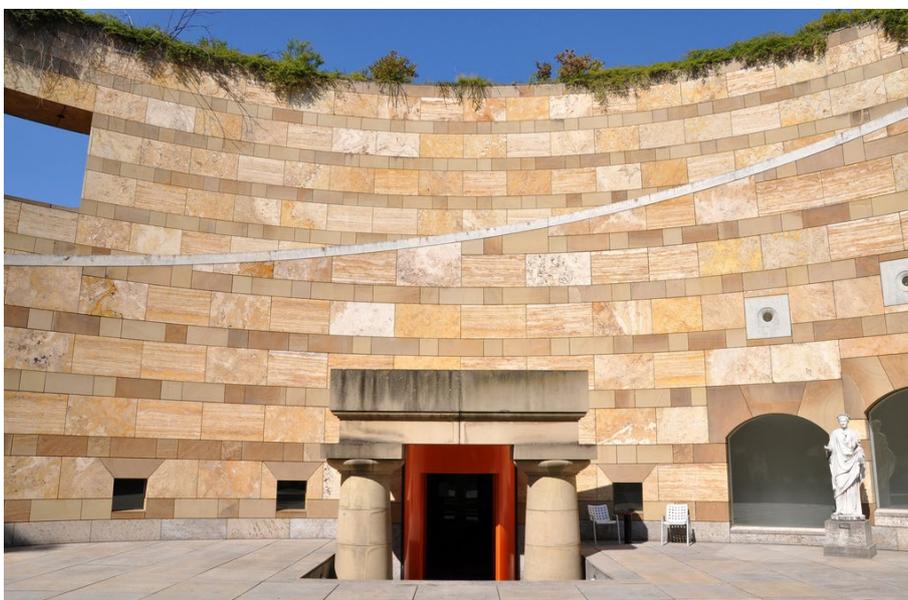


Fig. 191_ Neue Staatsgalerie, Stuttgart, Alemanha, James Stirling e Michael Wilford, 1984. O travertino e arenito que materializam o museu ganham grande ênfase na rotunda. A obra conjuga uma cuidadosa estética pétrea tradicional das tipologias de museu com o aço industrial colorido para gerar um manifesto do compromisso evolutivo da arquitectura e construção



Fig. 192_ Casa del Fascio, Como, Itália, Giuseppe Terragni, 1936. A organização geométrica pura da fachada racionalista não é dissonante do centro histórico onde se insere devido à materialidade pétrea, mármore bolticino, que lhe conferem uma monumentalidade e nobreza própria, mesmo que austera

participantes, como Fernando Távora, ou herdeiros desse trabalho, como Álvaro Siza e Eduardo Souto de Moura. Távora, em projectos de 56 e 58, casa de férias em Ofir e o pavilhão de Ténis da Quinta da Conceição, respectivamente, revela as lições da arquitectura tradicional pelo manuseamento de materiais tradicionais como o granito, associado aos materiais modernos como o betão, materializando volumes de escala mais humana, de autenticidade fundamentada.¹⁸⁵

A década de 60 será marcada pela confirmação de criação de sistemas arquitectónicos, urbanísticos ou sociais, mais consonantes com a realidade que os recebe, preterindo a aplicação de princípios genéricos e universalistas.¹⁸⁶

Apesar da crise inicial, o charme da pedra permitiu um regresso gradual do material ao arsenal construtivo, todavia privado de função estrutural, apenas como revestimento, protector e simbólico da tectónica de outrora. A evolução tecnológica da indústria transformadora dos anos 60 é uma das impulsionadoras da aplicação da pedra nessa direcção.

Os anos 80 protagonizaram a epifania da pedra, com um brotar de interesse renovado pelos materiais pétreos. O Neue Staatsgalerie, James Stirling, 1984, foi o manifesto edificado que impulsionou a revitalização da pedra como imagem e materialidade essencial do objecto arquitectónico. A arquitectura de pedra volta a falar-nos e expressar-se. Outros exemplos seguiram-se, por todo o mundo, como o Castilla y León Convention Center por Juan Navarro Baldeweg, Espanha, 1992, Seattle Art Museum por Robert Venturi e Denise Scott Brown, EUA, 1991, Centro Cultural de Belém por Vittorio Gregotti e Manuel Salgado, Portugal, 1993, Ermita Santa Maria degli Angeli do Monte Tamaro por Mario Botta, Suíça, 1996, Lar para Idosos por Peter Zumthor, Suíça, 1993, Casa no Bom Jesus do Monte por Eduardo Souto Moura, Portugal, 1994, Museu de Arte Contemporânea Galega por Álvaro Siza, Espanha, 1993, entre outras. Estes exemplos são herdeiros dos projectos de compromisso dos mestres do moderno, cuja poética da obra foi enaltecida pela exaltação do charme dos materiais pétreos. A Casa del Fascio, por Giuseppe Terragni, Itália, 1936, ou o Pavilhão de Barcelona por Mies van der Rohe, Barcelona, 1929, são claros exemplos de mestre, tanto do compromisso como da permanência da pedra na paleta da produção arquitectónica durante o Movimento Moderno.¹⁸⁷

Souto de Moura e Siza são ambos descendentes do Inquérito à Arquitectura Popular Portuguesa e do compromisso de respeito ao espírito do local por conjugação de valências tradicionais e modernas.

185. FERNANDEZ, Sérgio. *Percurso: arquitectura portuguesa: 1930-1974*. 2ª edição, Porto: Faup Publicações, 1988, p. 127-129

186. Idem, p. 168

187. PAVAN, Vicenzo. *I linguaggi dell'architettura contemporanea*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 37-38



Fig. 193 Casa no Bom Jesus, Braga, Eduardo Souto de Moura, 1994. A obra representa uma primeira fase do arquitecto, cujas casas adoptam muros de pedra como elementos de composição



Fig. 194 Museu de Arte Contemporânea da Galiza. Santiago de Compostela, Álvaro Siza Vieira, 1994. Diálogo entre duas peças arquitectónicas de séculos distintos: o museu e o convento de São Domingos de Bonaval

Na Casa no Bom Jesus, a pedra é usada em grandes blocos para a definição de um muro-fachada, pesado e primitivo, não rivalizando com o rigor geométrico da ligeireza dos materiais modernos. Os dois comunicam, auxiliam-se, intensificam os seus valores numa relação simbiótica impressionante, onde o peso da pedra é exaltado, e a ligeireza do vidro, metal e betão é elevada. Siza eleva este diálogo a um nível provocador, traço de mestre, com a fachada-pórtico, uma forma puramente moderna, em ‘silhar de pedra’ – na verdade placagem – ilusoriamente suportado por um singelo perfil metálico. No Museu de Arte Contemporânea Galego, a expressividade de alvenaria, cujo detalhe leva o canto é a ser desenvolvido com uma placagem especial em L, é criada para estabelecer um diálogo coerente entre o Museu e o convento de São Domingos de Bonaval. Apesar de materializado por placagem de pedra, meramente ornamental, o seu peso e valor tectónico tradicional é exaltado pela dicotomia antitética de leveza e gravidade dado pelo pórtico ‘reforçado’ com perfil metálico.

Botta, Zumthor, Souto de Moura e Siza, laureados com o Prémio Internacional de Arquitectura em Pedra da Marmomac, são iguais exemplo do compromisso, pertencentes à cultura do moderno mas expressam a inegável adaptabilidade do material de expressão tradicionalista sem cair em ambiguidades historicistas por figurarem em formas modernas. Em todas as obras, o emprego da pedra é ‘verdadeiro’ mesmo quando se assume como placagem. A função ornamental é transcendida em favor da revitalização da simbologia da tectónica, do abrigo e da perenidade. Os referidos vencedores do Prémio Internacional possuem a característica de figurarem espécies de pedra autóctones à da sua implantação. Apesar de poderem ser invocados argumentos e razões económicas, é inegável que a utilização de pedra nativa se deve também à identificação com o lugar, dos seus valores figurativos e das suas técnicas associadas. A preocupação de materiais autóctones é relevante num mundo globalizado. A pedra é largamente susceptível ao efeito de generalização e apropriação pois as suas propriedades, ou simplesmente valor ornamental, cativamos. Todavia, a multiplicação de técnicas e opções alóctones gera um problema de congruência com a cultura do lugar (e com o próprio desempenho do material como visto anteriormente). O sentido de cultura, identidade e património perde-se devido a escolhas menos fundamentadas que atacam e ignoram a imagem, lógica e sentimento do local onde uma intenção é materializada.¹⁸⁸

188. PAVAN, Vincenzo. *I linguaggi dell'architettura contemporanea*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 39



Fig. 195 Avenida dos Aliados, intervenção urbanística consequente do projecto do Metro do Porto, 2006, Álvaro Siza Vieira e Eduardo Souto de Moura. Apesar de ser uma intervenção contemporânea num centro histórico, foi assegurada a linha de continuidade entre a envolvente e o espaço público. A atenção à materialidade e às técnicas, sem cair em anacronismo e pastiche, possibilitaram uma continuidade do tecido urbano

O arquitecto deve ser capaz de interpretar o sítio onde intervém a fim de não rivalizar com a sua identidade manifestada pelo legado da história, a prova da sua perduração e existência. Sem esse carácter, a obra encontra-se só, mesmo que não sozinha, solta no tempo e no espaço. A integridade da identidade, lógica e cultura local é essencialmente relevante na dimensão em que a pedra é um predominante material de construção do espaço público, principalmente o dos centros históricos das cidades europeias. O seu valor simbólico advém do facto de carregar a tradição histórica, construir a tradição história e ser história em si. Os projectos contemporâneos das periferias tentam apropriar-se dessa imagem e repeti-la como meio de continuidade comprovado pela cidade consolidada. Todavia, apropriação cega das lógicas desses períodos resultará num aumento da discrepância entre a arquitectura do espaço urbano e a arquitectura (contemporânea) envolvente ou mesmo provocar um espaço público anacrónico, em desarmonia, com falta de carácter próprio, senão uma mera cópia, tal como sucede com as arquitecturas individualistas.¹⁸⁹

189. PAVAN, Vincenzo. *I linguaggi dell'architettura contemporanea*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, pp. 49-51

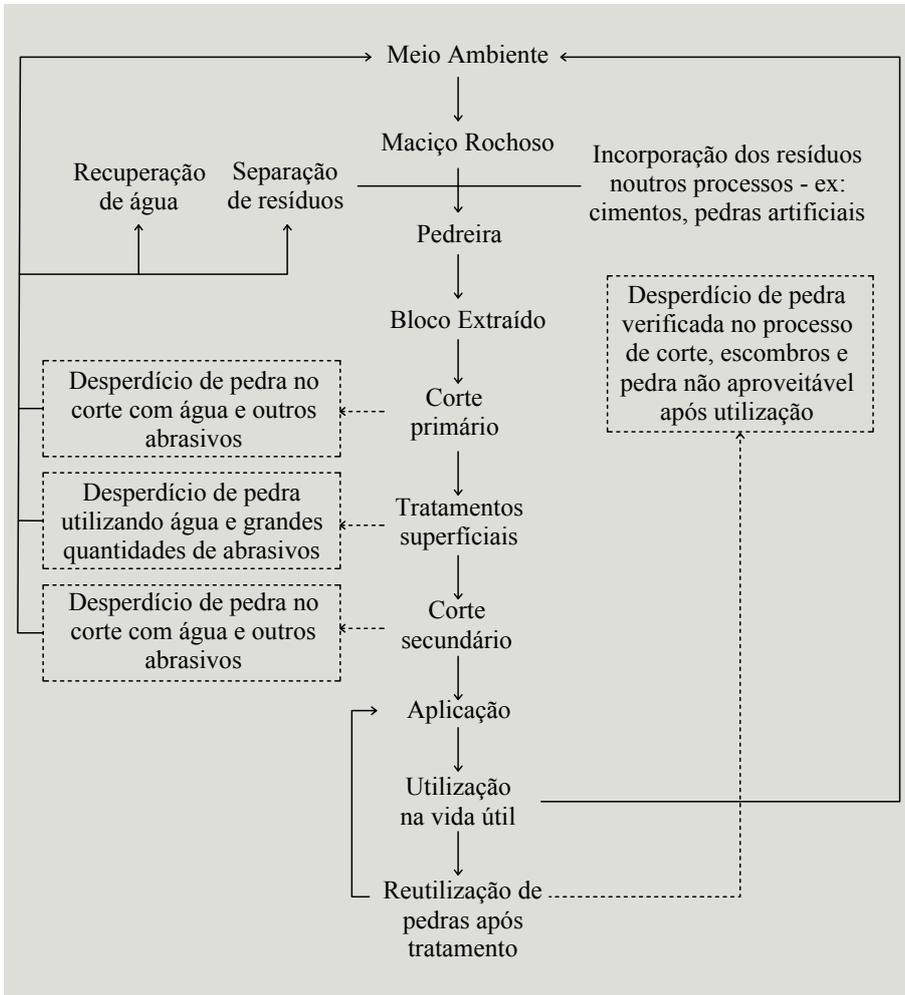


Fig. 196_Esquema do ciclo de vida da pedra como material de construção



Fig. 197_Escombreira junto à pedreira de Anticlinal de Estremoz. É necessário repensar as dinâmicas de ordenamento do território para o sector extractivo pétreo

2_Ciclo de Vida

2.1_Presença e (Re)utilização

A mudança de paradigma da construção em Portugal aconteceu nos últimos 50 anos graças à introdução das estruturas de betão armado. A conjugação de pedra (tijolo ou adobe quando indisponível) como estrutura vertical com madeira como estrutura horizontal (pavimentos e coberturas) transformou-se na conjugação de pórticos de betão com lajes aligeiradas e paredes de tijolo. Um material com um ciclo de vida curto pode por vezes acarretar consequências ambientais e custos energéticos elevados, incongruentes com o período de vida útil da função que desempenha. A mescla de materiais industrializados dificulta a reciclagem quando comparado com o paradigma anterior onde as paredes em pedra serviriam a mesma função estrutural durante dezenas ou centenas de anos para posteriormente figurarem em muros ou novos silhares.

Embora não sejam raras as situações onde a paisagem é pontuada por escombrelas¹⁹⁰ ou pedreiras a céu aberto sem qualquer atenção de carácter paisagístico, a pedra possui um ciclo de vida complexo que permite a sua reciclagem ou reutilização sobre novas formas. O brutal peso ambiental da pedra evidenciado pela massa de resíduos estéreis produzidos no seu ciclo de vida (valores que podem chegar aos 70% durante a fase de extracção) tem sido combatido graças à actualização da indústria e à consciencialização ambiental (e económica). O aumento da eficiência e melhoria da gestão dos recursos nos processos extractivos e transformadores, assim como o desenvolvimento de materiais cuja matéria-prima seja os estéreis são as principais estratégias para mitigar o impacto dos produtos pétreos. Exemplos destes materiais são os aglomerados de pedra, já tradicionalmente usados nas décadas de 50 e 80 do século XX, como a marmorite em Portugal, com uma aparência fragmentar, ou então compósitos, decorrentes da evolução das resinas poliméricas, que utilizam pedra pulverizada aglutinada para criar um material de aparência muito semelhante à pedra natural mas de melhor desempenho. A utilização de materiais locais e pouco transformados é uma estratégia secundária para ajudar a reduzir o impacto e o custo da construção para com o ambiente.

Onde é utilizada hoje a pedra? Apesar de retirada da estrutura dos projectos (com algumas excepções de obras experimentais que serão abordadas posteriormente), ela continua a materializar a

190. “Concentração de partes não aproveitáveis de minérios ou matéria-prima em exploração que geralmente impede ou dificulta o desenvolvimento da vegetação e de qualquer atividade agrícola nessa zona” in *escombrela* in Dicionário Infopédia da Língua Portuguesa [em linha]. Porto: Porto Editora. Consultado em 26-06-2018. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/escombrela>

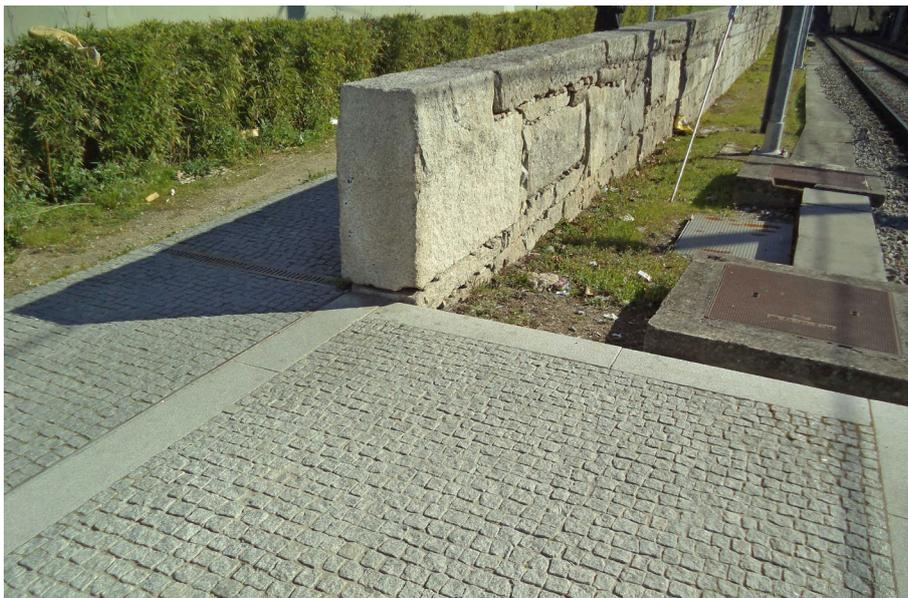


Fig. 198_Estação de Metro Lapa, Porto. A mesma espécie pode apresentar um multitude de formatos e funções: silhares, cascalho, muros, cubo, balastro, lancis e lajetas



Fig. 199_Pedreira de Querciola de mármore, Carrara

imaginação dos arquitectos. A tradição construtiva ainda invoca a pedra como material predilecto para o fabrico de diversos produtos e imagens. Muros e paredes, cornijas, ombreiras, soleiras, rodapés, padieiras e outras cantarias, equipamento e mobiliário urbano, placas para revestimento de paredes interiores, exteriores, guarnições de portas e janelas, degraus e escadarias, colunas, pórticos, varandas e variados ornamentos de fachada, arte funerária e placas maciças para calçadas e todo o tipo de pavimento, desde o destinado a tráfego pedestre interior ou exterior e destinado a tráfego automóvel. A pedra assume diversas formas e funções na construção, desde godo protector na cobertura a placas decorativas modulares de estêreis, a sua principal aplicação é sem dúvida sob a forma de revestimento de espessura reduzida. Todavia, outras tendências de mercado começam a surgir. O aumento de trabalhos de reabilitação ou arquitectos aliados a novas tecnologias e intenções conduziram ao pedido de produtos de maiores espessuras ou extremamente finas, de dimensões especiais ou características inusitadas. Seja o excelente desempenho sob o ponto de vista ornamental ou estrutural, carga simbólica e tectónica ou a relação de qualidade e preço, este material antigo continua a oferecer competição a outros materiais com funções afins.

Quer a pedra ou os aglomerados de pedra, se utilizados racionalmente e atendendo às particularidades da sua produção e ciclo de vida, podem funcionar como elementos positivos para a sustentabilidade do meio-ambiente. O ciclo de vida de uma pedra pode ser tão múltiplo como os minerais que os compõem ou as utilizações e formas que assume. De uma forma genérica, o ciclo de vida dos produtos pétreos é ilustrado pelo seguinte diagrama¹⁹¹ que evidencia o peso dos processos de extracção e transformação.

2.2_Extracção e Transformação

As técnicas e os materiais extraídos derivam da procura existente no mercado. A evolução da indústria do sector pétreo evolui no sentido de responder às exigências mais comuns mas possibilitar a flexibilidade de conseguir responder também a requisitos especiais. Como qualquer indústria, desenvolveu-se principalmente de forma diminuir os produtos supérfluos e os consequentes custos. A racionalização de diminuição de tempos e matéria-prima perdida produziu uma técnica extractiva – derivada de procedimentos similares com milénios - que,

191. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 513-515



Fig. 200 Máquina de forte de fio diamantado. Conjugada com múltiplas roldanas e extensões, o fio pode ser usado para cortar qualquer plano de rocha em qualquer sentido



Fig. 201 Pedreira de Leventina, Espanha. A máquina de perfuração vertical (veículo azul) prepara a próxima linha de corte (outras duas linhas de corte podem ser vista à esquerda, linhas de fractura a castanho)



Fig. 202 Técnica de pré-corte com recurso a uma substância não explosiva, mas expansiva que evita ondas de choque e mitiga a formação de detritos e escombros

perante a constante exigência da indústria transformadora por blocos de dimensões e geometria regulares, promove o aproveitamento das massas de pedra extraídas dos maciços originais, otimiza os tempos de trabalho dos engenhos de serragem e a redução da produção de escombros.

O processo extractivo desenrola-se em várias fases sucessivas de subdivisão sequente de uma grande massa regular destacada do maciço da rocha. O primeiro passo é o destaque da bancada, o primeiro bloco cortado do maciço. A operação de destaque da massa do maciço processa-se por diversas técnicas. O pré-corte, por exemplo, recorre à perfuração. Ao longo de um plano de corte, criam-se uma linha de perfurações vertical e horizontal, de furos próximos entre si. Os valores de afastamento entre furos, profundidade, inclinação e diâmetro estão dependentes de factores como a dureza da rocha, a qualidade da superfície de corte, o balanço entre custos de perfuração e destaque. Procede-se à colocação de material explosivo nas perfurações para que as pressões desenvolvidas nos diferentes furos resultem numa força suficiente para vencer a resistência da pedra. Outras técnicas de destaque são utilizadas como o recurso a fio diamantado, termojecto (rotura pelas pressões cristalinas decorrentes das diferentes dilatações lineares térmicas dos minerais, induzido por jacto de ar comprimido) ou *slot-drilling* (série de perfurações secantes a fim de destacar a bancada). O fio diamantado é particularmente usado para a obtenção de blocos com superfícies de corte completamente lisas. O fio, composto de aço e pérolas adiamantadas, é inserido em dois furos ortogonais perfurados no maciço e através do atrito gerado pela circulação do fio a rocha é cortada. O aprimorar desta tecnologia aumentou o rendimento por metro de fio consumido e conseqüentemente os metros quadrados de superfície cortada o que se reflectiu numa redução dos custos associados a esta técnica e no aumento da sua utilização. Uma das inconveniências é a necessidade de grandes quantidades de água para refrigerar o calor gerado pelo atrito de corte. A gestão das águas é um factor importante e presente na indústria extractiva devido ao forte impacto ambiental que o sector representa. Após o destaque realiza-se o derrube dos blocos sobre uma almofada composta de detritos e sedimento para amortecer o impacto da queda e evitar que se quebre.

O processo extractivo em bancadas requer que o corte seja efectuado em patamares consecutivos a fim de obter blocos de dimensões cada vez mais reduzidos. Utiliza-se uma diversidade de



Fig. 203_Bancada de granito extraída antes da divisão em blocos. Destaque por fio diamantado devido à superfície lisa e os padrões que apresenta



Fig. 204_Terreiro de armazenamento dos blocos de granito. Os vincos indicam a utilização da técnica de pré-corte



Fig. 205_(esq.) Corte de bloco de granito por serra circular diamantada



Fig. 206_(dto.) Corte CNC (fresa) a esculpir detalhe numa placa de granito

técnicas consoante a mão-de-obra disponível e os custos associados. A subdivisão da bancada pode ser feita por meios mecânicos como os acima expostos ou então manualmente pelo recurso a cunhas alinhadas pelo plano de corte intencionado. Este processo de aparelhar os blocos é uma fase intermédia que se destina a conferir aos blocos a regularidade geométrica e dimensões comercialmente exigidas. A bancada inicial, um bloco destacado com volume tão colossal como 500 m³, é sequentemente divididos em vários blocos até atingir volumes compreendidos entre 4 e 6 m³.

Segue-se a movimentação dos blocos resultados da sucessiva divisão, assim como de outros estéreis ou fragmentos. Blocos de menor dimensões decorrentes da fracturação do maciço, do processo de desmonte ou de falha técnica, são aproveitados e encaminhados para diferentes indústrias transformadoras, quer sejam artefactos de pequeno tamanho como cubos e paralelos, ou produtos de maiores espessuras ou uso especial.¹⁹²

A indústria transformadora recorre a diversas maquinarias, assim como a artesãos, para redimensionar e transformar a matéria-prima que lhe é entregue. Pelo recurso a engenhos de lâminas diamantadas, serras de discos diamantados, monolâminas, monofios, fios helicoidais e diamantados e mesmo ferramentas tradicionais como cinzéis, cunhas e martelos, os blocos de pedra são sucessivamente reduzidos a placas de pouca espessura, lajetas, cubo, paralelos, etc. As ferramentas tradicionais da lavra da pedra como picolas, bujardas, maços, macetas, ponteiros e cinzeis, ainda possuem um papel no fabrico de diferentes texturas e acabamentos, que serão abordados posteriormente.

A fabricação de produtos pétreos está intimamente conecta à automatização desta indústria. O espectro de máquinas é vasto, desde serragem automática, maquinaria de corte por jacto de água ou laser, calibradoras para regular espessuras, biseladores e fresadoras, polidoras, tornos, bujardoras (martelo pneumático usado para dar o acabamento bujardado à superfície pétrea), flamejadoras (maçarico automático usado para dar o acabamento flameado à superfície pétrea), máquinas de arear (máquina com jacto de água com areia siliciosa para dar o acabamento areado à superfície pétrea), máquinas de gravação e linhas automáticas de produção em série de elementos repetitivos como ladrilhos ou tampos de mobília.¹⁹³

A indústria transformadora mantém-se a par das novas tecnologias digitais. A utilização de desenho e corte assistido por

192. MOURA, A. Casal. *Granitos e Rochas Similares de Portugal*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro, 2000, pp.52-64

193. Idem, pp. 74-81



Fig. 207_Corte CNC de fio diamantado. Possibilidade de cortar superfícies curvas para alto rendimento da placa



Fig. 208_Flamejadora a tratar a superfície de uma placa de granito (mudança cromática)

computador é prova disso. A maquinaria de controlo numérico, CN e CNC (Computarizado), desempenha cada vez mais um papel importante na transformação e inovação do material pétreo para a criação de peças inusitadas, paramétricas ou modulares.

2.3_Tratamentos e Acabamentos

Como exposto no estudo das Anomalias, a eleição de uma dada pedra recorre, muitas vezes, do seu valor estético pois estará presente na imagem da construção. Como forma de revestimento, o aspecto do material é determinante na escolha entre as variadas possibilidades oferecidas pelo mercado. Como explorado ao longo desta dissertação, o aspecto e valor estético de uma aplicação em pedra depende de inúmeros factores intrínsecos à pedra extraída, como a sua composição química, a presença de xenólitos ou inclusões, a qualidade textural, o arranjo dos elementos, e principalmente, o seu acabamento. Pela natureza distinta dos vários processos para o tratamento superficial do elemento, a mesma pedra apresentará diferentes características estéticas, físicas, químicas e mecânicas consoante o acabamento que recebe.

O acabamento de uma pedra transforma a sua superfície alterando o seu valor ornamental, já que a pedra como sistema químico reagirá quando fora de equilíbrio. Os processos de acabamento podem manipular e mudar a tonalidade ou intensidade da cor da pedra, um factor que se deve ter em consideração quando se selecciona a imagem final pretendida para o projecto. Recorde-se que cada pedra já apresenta um rico valor estético que a define. Algumas apresentam texturas, cores e irregularidades superficiais muito próprias e identificadoras do tipo, e essas características podem tornar a pedra inapta a receber determinados tratamentos. A resposta da estrutura cristalina (com xenólitos, inclusões, falhas ou orifícios próprios) aos impactos, às temperaturas, à fricção, aos produtos químicos, etc. consequentes desses processos pode incluir fracturação ou desintegração, revelando-se prejudiciais para o material. Por exemplo, em geral, algumas rochas xistentas não podem ser polidas, como a ardósia e o quartzito, ou o diorito, apesar de próximo do granito, não pode ser flamejado¹⁹⁴. Os acabamentos, apesar de terem uma função estética, devem ajudar a peça a resistir melhor aos agentes agressores enquanto promovem o padrão e textura ornamental desejado, já que, como exposto anteriormente, estes terão uma influência directa no desempenho do produto pétreo, quer seja a sua rugosidade bruta

194. LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007, p. 67



Fig. 209_Acabamento serrado



Fig. 210_Acabamento escacilhado

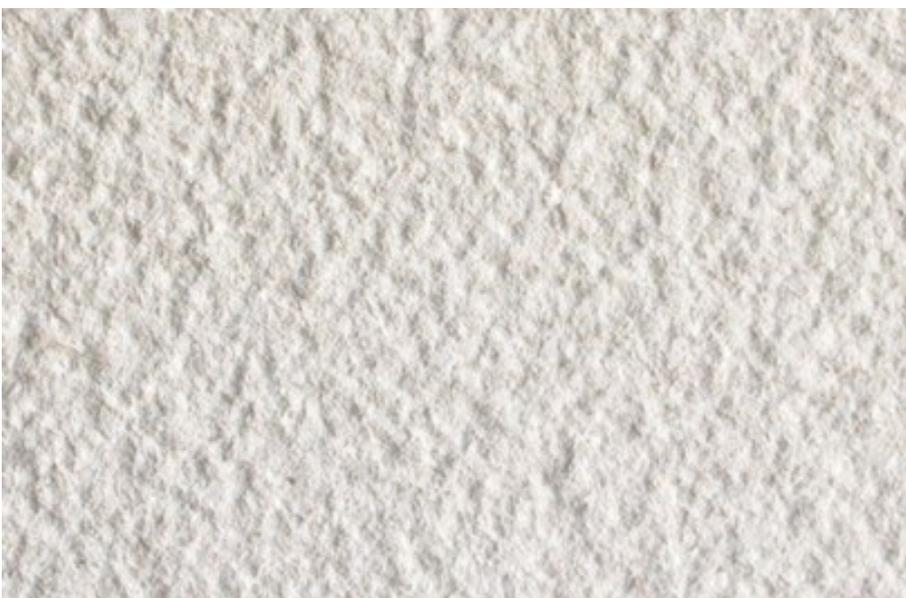


Fig. 211_Acabamento bujardado médio

que promova incrustação e colonização biológicas ou a sua textura que impeça o escorregamento.¹⁹⁵

Apresenta-se uma lista dos principais métodos de acabamento dos materiais pétreos, cuja classificação deriva do processo de tratamento:

Fendido ou Lascado

Superfície rugosa e irregular obtida pela abrasão quer manual, com recurso a cunhas ou cinzéis, ou automática, com recurso a prensas hidráulicas providas de cunhas.

Serrado

Superfície plana com sulcos ou ondulações mais ou menos rectilíneos e paralelos, decorrente da serragem dos blocos em placas. É o acabamento mais económico pois os restantes são realizados sobre o material serrado¹⁹⁶.

Cortado

Superfície plana com sulcos curvilíneos produzidos pelos discos de corte (serras de disco adiamantadas).

Apicoado

Superfície regular finamente rugosa obtida pela abrasão com recurso ao golpeamento com um picão ou picola, provocando destaque de pequenos grãos.

Escacilhado ou Rachado

Superfície rugosa, lascada e irregular marcada por sulcos lineares paralelos e obtida por abrasão com recurso a cinzéis, ponteiros, fresas, etc. destacando esquirolas. Deve considerar-se apenas material a partir dos 5 cm de espessura pois o processo removerá cerca de 2 cm.

Bujardado

Superfície rugosa, antiderrapante e suficientemente plana para pavimentação. Obtida por abrasão com recurso ao golpeamento da pedra com bujardas (martelo de cabeça de aço com dentes piramidais). O acabamento é tão mais fino ou grosseiro consoante o tamanho dos dentes da bujarda. Esbate ligeiramente a cor da pedra, esbranquiçando-a.

Areado ou Jacto de areia

Superfície pouco rugosa (menos que a bujardada) de aspecto homogéneo, regular e fino, antiderrapante e suficientemente

195. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 40

196. TONS DE PEDRA. *A Pedra Natural: Tipos de Acabamento*. Consultado em 5-07-2018. Disponível em: http://www.tonsdepedra.com/pedra_natural_acab_detail.php?aID=30



Fig. 212_Acabamento flamejado



Fig. 213_Acabamento polido



Fig. 214_Acabamento riscado fino

plano para pavimentação. Obtida por abrasão com recurso a jacto de água de alta pressão com areia siliciosa.

Gastejado ou Ranhurado

Superfície canelada, de caneluras, em geral, côncavas ou trapezoidais. A superfície obtida pelo corte extractivo dos blocos de pedra.

Flamejado

Superfície suficientemente plana (apesar de admitir variações de relevo) antiderrapante e relativamente macia, obtida com aplicação de chama oblíqua a altas temperaturas à superfície da pedra. Esbate a cor original e induz alteração cromática no sentido de tonalidades mais quentes com diferentes tonalidades das distintas faces do relevo existente.

Polido

Superfície plana, lisa, brilhante e reflectiva. Obtida pela fricção abrasiva de cabeças rotativas de granulometria cada vez mais reduzida, terminando com cabeças de feltro. Destaque e realce da cor assim como das suas características específicas (irregularidades) da pedra como veios, grão, xenólitos, etc. É uma das técnicas de tratamento de superfície mais utilizada para granitos e granitóides.

Amaciado

Superfície similar ao polido porém mate. Obtida pelo menos processo que o polimento mas sem recurso aos abrasivos de grão mais fino.

Riscado

Superfície suficientemente plana marcada por sulcos lineares paralelos bastante próximos gerando um padrão em riscas (de sombra e luz), obtida por recurso a uma fresa e específica e relativamente mais tempo para produção resultando em uma das opções mais dispendiosas a nível de acabamento¹⁹⁷.

É de salientar que um tipo de acabamento não está limitado a um único aspecto. O tratamento, quer executado por equipamentos automáticos ou artesãos, é susceptível de produzir diferenças visíveis quer entre pedras quer entre as maquinarias ou artesões responsáveis pela transformação. A precisão tecnológica tem vindo a diminuir esta divergência todavia diferentes maquinarias produzirão sempre

197. STONESENSE .
Acabamentos. Consultado em
5-07-2018. Disponível em:
[http://www.stonesense.pt/pt/
catalog/finishings](http://www.stonesense.pt/pt/catalog/finishings)



Fig. 215_Fixação indireta por ancoragem de perfil dentado



Fig. 216_Fixação directa por colagem por argamassa

pequenas diferenças dentro do mesmo acabamento (se bem que cada vez mais imperceptível). O aspecto final do produto depende igualmente da qualidade do processo transformativo. Aquando da escolha da pedra e respectivo acabamento é importante contactar o fornecedor e transformador para obter amostras reais do produto final.¹⁹⁸

Outros tipos de tratamentos existentes estão relacionados com as capacidades tecnológicas e inovadoras que cada entidade possua. Por exemplo, tratamentos a laser podem ser executados para conferir à pedra uma textura antiderrapante com um aspecto aproximado ao acabamento tradicional de polimento, contornando a sua inaptidão para pavimentos. A superfície da pedra é abrasida por um laser que produz uma malha de micro-orifícios de 200 μm ¹⁹⁹ de diâmetro afastados entre si 450 μm .²⁰⁰ Outros possíveis tratamentos, já comentados ao longo da dissertação, é a utilização de resinas ou ceras para impermeabilizar o material pétreo ou para selar a sua porosidade e conferir-lhe, por exemplo, resistência à aderência de *graffiti*. Estes tratamentos podem ter ou não um reflexo final no acabamento do elemento.

2.4_Aplicação contemporânea

A configuração e função do elemento pétreo – usualmente, placas para revestimento – influencia o método de aplicação, todavia os processos actuais dividem-se em duas categorias, fixação directa ou fixação indirecta, que se traduzem geralmente em assentamento ou ancoragem. É a qualidade da técnica executada que, independentemente do método escolhido, determinará a durabilidade da aplicação e influenciará o conseqüente desempenho do material pétreo.

2.4.1_Fixação Directa

A fixação directa executa-se com assentamento por recurso a agentes adesivos, cujo objectivo principal é criar um sistema rígido através da disposição dos seus elementos ordenadamente para que cumpra uma finalidade em vista, como numa calçada ou muro simples. Este método de fixação pode executar-se por colagem – recurso a colas, argamassas, cimentos ou adesivos sem cimento (mástique) – ou por selagem – recurso a argamassas à base de cal hidráulica ou cimento branco, menos susceptíveis de originar manchas ou eflorescências nos produtos pétreos. A técnica mais popularizada é a colagem directa

198. MOURA, A. Casal. *Granitos e Rochas Similares de Portugal*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro, 2000, p. 82-83

199. Micrómetros: 10⁻⁶m

200. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1^o Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 135-136



Fig. 217_Eflorescência com efeito de moldura em placas coladas, no cruzamento entre rua da Piedade e rua do Vilar, Porto (2018)



Fig. 218_Descolagem de placa de pedra indevidamente colada (argamassa não apresenta estrias), rua da Piedade, Porto (2018)

das placas de pedra por cimento-cola (um dos agentes de adesão mais difundidos) decorrente da sua simplicidade face à grande demanda, já que “os revestimentos de pedra em fachadas assumem uma grande importância em Portugal, sobretudo no Norte do País”^{201, 202}.

O assentamento é caracterizado por um menor custo comparado com os outros métodos, todavia não é o de maior rendimento. Uma das principais inconveniências deste método é ausência de ventilação no tardo da placa o que promove acumulação de humidades e transporte de ingredientes da argamassa ou do substrato originando eflorescências e manchas (efeito de moldura). A humidade atmosférica intensifica este fenómeno nas rochas mais porosas e nas fachadas menos ensoleiradas, promovendo a formação de manchas diversas, sujidade e colonizações biológicas como líquenes.

Em situações de colagem directa, a devida elasticidade do agente de adesão, os coeficientes de dilatação térmica linear e o cálculo das juntas devem ser analisados para evitar incompatibilidade entre as dilatações diferenciais das placas e da estrutura de suporte. O tipo de pedra influenciará o comportamento de todo o sistema já que pedras escuras ou negras, como ardósias e gabros, absorvem mais calor e dilatam mais do que as pedras claras. Na ausência de juntas, ou na utilização de cimento com elevada rigidez, prevê-se ruptura e descolagem das placas.

Os agentes adesivos podem ser argamassas, cimentos-cola, resinas e colas epóxi. As argamassas de cimento, branco por regra, e cal, possuem grande flexibilidade e adaptam-se às movimentações normais dos elementos que compõem a fachada assim como ao diferencial de dilatação térmico dos mesmos. O cimento-cola, mistura de cimento com aglutinantes e aditivos, possui alto poder adesivo todavia o seu pH fortemente básico, acima de 12, promove a formação de anomalias como eflorescências pelo transporte de componentes quer do cimento, do suporte ou lixiviados da própria pedra aplicada (alguns minerais são muito susceptíveis a estes fluidos básicos, como o caso da biotite nos granitos, cujo ferro no mineral é arrastado e promove a formação de manchas e descoloração). As resinas e colas epoxídicas, produto de dois reagentes cujo poder adesivo é muito forte, possui propriedades elásticas com grande resistência a forças de corte. Este agente é, em geral, à prova de água. Estas características permitem-lhes acompanhar as dilatações da pedra e do substrato e evitar o descolamento e fissuração.

201. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 502

202. Idem, pp. 501-503

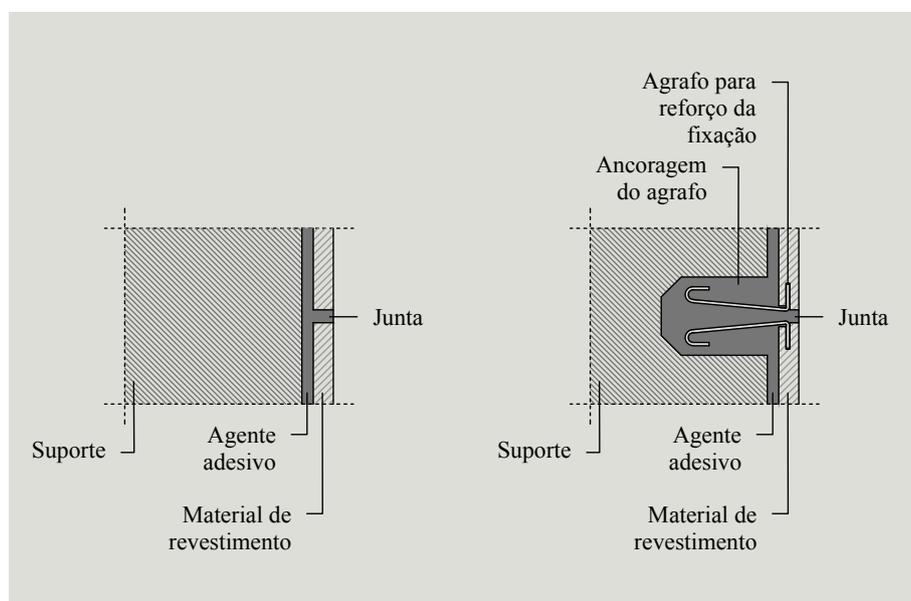


Fig. 219 Esquema de fixação directa (com e sem reforço)

A melhor técnica de colagem directa é a dupla colagem, ou seja, o agente adesivo é aplicado no tardo da placa e no paramento do suporte de forma a assegurar o contacto total entre a placa e o substrato. O procedimento só deve ser executado após serem assegurados dois parâmetros: a limpeza e o tempo. Deve ser garantida a limpeza do paramento do suporte e do tardo da placa já que qualquer partícula ou impureza poderá resultar em uma degradação acelerada da aplicação; deve-se de igual modo esperar e permitir à estrutura que assente para evitar movimentações bruscas inesperadas que danificariam o revestimento pétreo. Qualquer transbordo do agente adesivo deve ser de imediato limpo para não promover a formação de eflorescências.

No caso das paredes exteriores, a fixação directa não é recomendada para aplicações acima dos 6 metros de altura devido ao perigo de descolamento e provocar danos materiais ou aos transeuntes por causa da degradação natural e inevitável dos agentes adesivos com o decurso do tempo. Apesar dessa limitação, mostra-se uma boa solução para a fixação de rodapés já que é uma zona passível de embates e colisões e esta técnica confere às placas uma maior resistência ao choque por impacto.²⁰³ Portanto, quando aplicada no exterior aconselha-se à utilização de sistemas de reforço como grampos ou agrafos ('gatos') para mitigar o risco.

O descuido da mão-de-obra assim como o desconhecimento dos materiais usados, quer das pedras quer dos cimentos-colas (e outros agentes adesivos), originou uma quantidade muito elevada de anomalias em construções recentes, com idade inferior a cinco anos. A simplicidade da fixação directa é uma espada de dois gumes. O menor descuido na sua execução ou manutenção desencadeará um leque de anomalias como manchas e eflorescências que além de danificarem o valor estético da construção, podem, com o decorrer do tempo, ameaçar a integridade dos elementos da fachada, estrutura incluída. Recorde-se que as eflorescências podem evoluir para cristalizações internas cujas pressões de cristalização provocarão o desprendimento e desagregação dos materiais adjacentes. A escolha dos materiais de revestimento, a escolha dos agentes adesivos, a preparação do interface, a localização, existência e dimensão das juntas, a competência da execução dos métodos de aplicação, a extensão do conhecimento sobre as reacções físico-químicas em desenvolvimento nas pedras, etc., são tudo factores decisivos da qualidade final da aplicação do revestimento pétreo. O desenho arquitectónico deve contemplar o conhecimento com que os

203. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, pp. 110-112



Fig. 220_ Sistema de fixação indirecta para pavimento por recurso a apoio ajustável para pavimento flutuante



Fig. 221_ Sistema de fixação indirecta para fachada por recurso a ancoragens laterais e um apoio secundário inferior. Cada cavilha estará associada a duas placas, lateralmente

diversos especialistas contribuem para o melhor desempenho global da construção possível.²⁰⁴

2.4.2_Fixação Indirecta

Apesar da fixação directa ser predominante na aplicação de produtos pétreos, nomeadamente para interiores, a fixação indirecta – ancoragem por intermédio de estruturas secundárias de suporte onde as placas de pedra assentam – assume imenso destaque em obras de grande escala. Este método de aplicação tem como principal objectivo garantir a existência de uma caixa-de-ar, um espaçamento, entre o revestimento e a estrutura principal. O sistema pode aplicar-se a fachadas, onde as pedras são fixas por pernos, perfis ou cavilhas à estrutura secundária, ou a pavimentos, onde são fixas por encaixe.²⁰⁵

A fixação indirecta resulta normalmente numa solução de sistema de fachada ventilada. Antes de mais, a fachada deve ser entendida como um elemento tecnológico da construção pois recorre à ciência dos materiais e suas interações para desempenhar as funções elementares de suporte, isolamento e protecção, geralmente nesta ordem, do interior para o exterior. Quer sejam desempenhadas por uma camada multifuncional ou por uma composição de camadas de propriedades específicas monofuncionais, as funções exigidas são constantes: a necessidade de transferir as cargas verticalmente para o solo, o requisito de regular termicamente os espaços interiores comparativamente ao exterior e a imposição de proteger o edifício e a construção da fachada, especialmente o isolamento, de acções externas surgindo da envolvente. É sem dúvida um dos elementos mais complexos de um edifício, que requer um grande nível de coordenação, desenvolvimento e compreensão de todas as dinâmicas envolvidas.²⁰⁶

Apesar da existência da solução da camada singular multifuncional – por exemplo, um betão reforçado para estar à vista e com propriedades isoladoras – é mais comum vermos a fachada constituída por várias camadas. A solução da fachada ventilada, uma solução oriunda da Alemanha no início dos anos 70²⁰⁷, é caracterizada por um revestimento apoiado ou fixado por elementos metálicos anticorrosivos ou plásticos de alto desempenho conectados à estrutura ou suporte originando uma ‘camada de ventilação’ entre eles, uma caixa-de-ar. Apesar de esta solução apresentar uma multitude de configurações graças às características de cada um dos elementos que

204. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 501-504

205. Idem, p. 505

206. DEPLAZES, Andrea, *Constructing architecture: materials processes structures: a handbook*, 2ª ed. reimpressão corrigida da edição alargada de 2008, Basel: Birkhäuser, 2010, p. 191

207. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 132

Pedra: Matéria, Método e Materialização

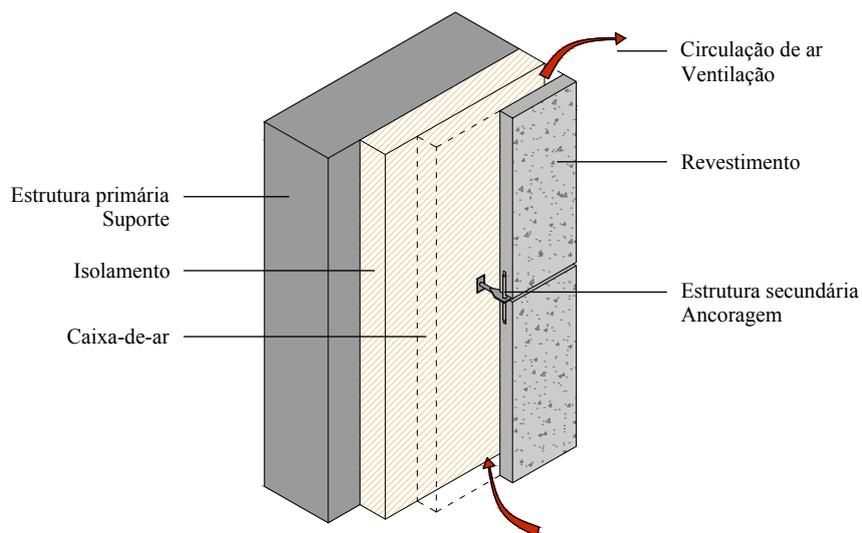


Fig. 222_Esquema da solução de fachada ventilada

a compõe, os elementos comuns que compõem o sistema de fachada ventilada são:

1. A estrutura, que suporta o peso próprio e cargas adicionais, tal como resiste aos esforços solicitados pelo vento, pressão, etc.;
2. O isolamento térmico, que conserva as características térmicas internas do edifício, podendo ser aplicado com colas, meios mecânicos ou por projecção, a fim de obter uma camada contínua;
3. A caixa-de-ar, um espaçamento entre o isolamento e o revestimento exterior com espessura variável e que através do efeito em chaminé, devido à abertura no topo e na base, obriga à ventilação das camadas adjacentes, remove condensações e humidades de imbibição, aumenta o valor do isolamento térmico e assegura o controlo hidrotérmico, pela eliminação de vapor interior nas estações frias e a redução de calor produzido pela radiação solar através de correntes de convecção nas estações quentes;
4. A estrutura secundária ou suporte de ancoragem, que pode ser pontual, linear ou contínua, e conecta os elementos do revestimento à estrutura principal;
5. E por fim a camada de revestimento, que protege o edifício dos agentes atmosféricos e constrói a sua aparência. O revestimento em pedra assume muitos formatos desde pedra estratificada em pequenas placas até grandes blocos maciços em granito ou mármore.

O princípio de desenho da fachada ventilada é a autonomia estática de cada uma das peças de revestimento e a eliminação de argamassas de adesão ou preenchimento, com a característica principal de permitir a total separação entre o revestimento (de pedra) e a estrutura. O sistema de fixação indirecta, ao libertar as placas de pedra, permite que se expandam de acordo com o seu próprio coeficiente de dilatação enquanto os esforços solicitados são transferidos pela ancoragem, transformando-as em elementos independentes dos adjacentes, autoportantes. A ventilação, por efeito em chaminé, não é algo novo, mas sim uma continuação do saber das construções tradicionais e das suas técnicas.²⁰⁸ Da mesma forma, grampear blocos de pedra para assegurar a sua estabilidade não é de todo um procedimento novo, a sua tecnologia apenas progrediu concedendo-nos novas possibilidades. A evolução dos sistemas de fixação indirecta permitiu reduzir os tempos de construção, as limitações de aplicação e as anomalias decorrentes de má execução relacionado com a fixação directa. A componente

208. GIRASANTE, F. *Materiali e sistemi di facciata*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, pp. 64-66

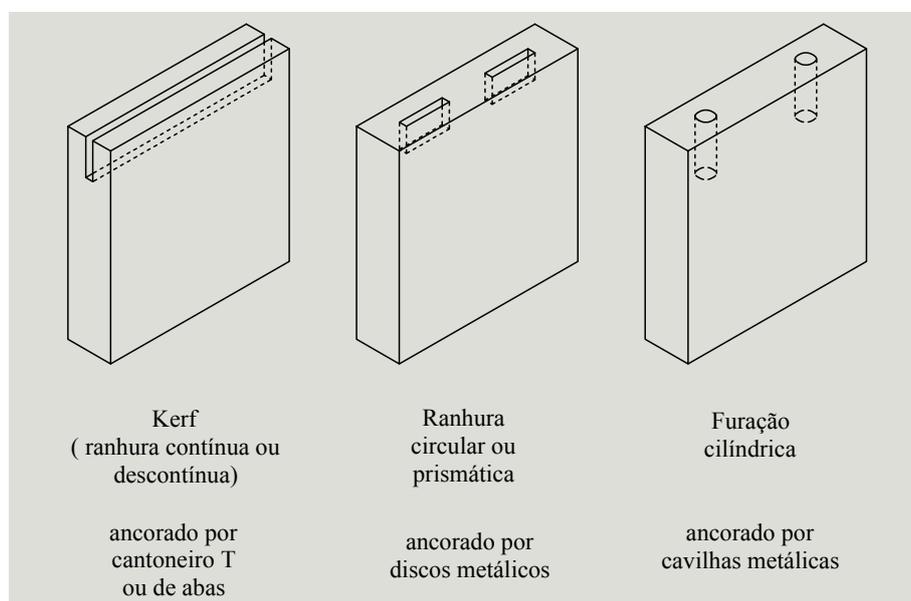


Fig. 223 Esquema dos sistemas de perfuração e ancoragem mais comuns na fixação indirecta

modular das estruturas secundárias e das placas de pedra é o principal factor de aceleração do processo, contudo comparativamente à fixação directa, implica um aumento de custos e necessidade de mão-de-obra mais especializada.

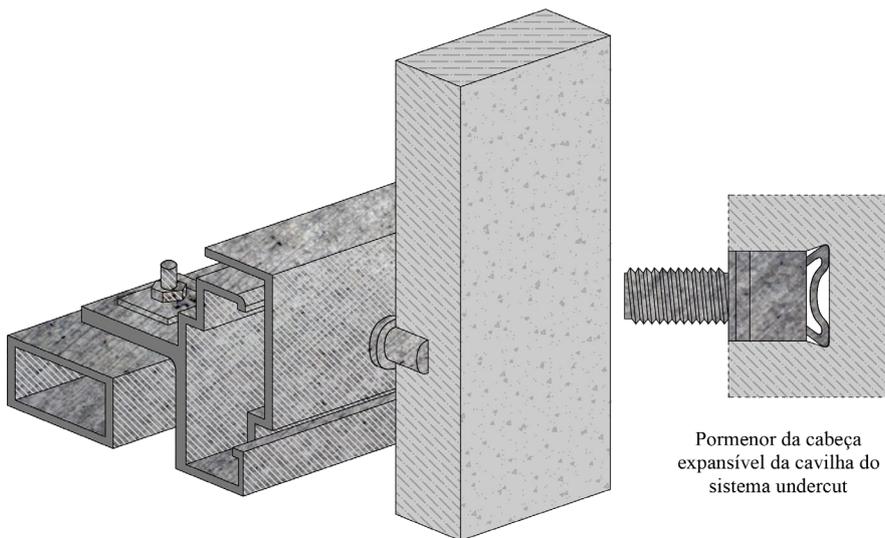
Os métodos de fixação indirecta apresentam muitas formas em consequência da multitudine de tipologias de ferragens e dos próprios elementos de revestimento. Todavia, o suporte da pedra é efectuado pela inserção de um elemento rígido na placa através de um orifício ou mecanismo similar que conecta a pedra à ferragem. Dos vários sistemas de furação existente, destacam-se os seguintes, por serem os mais recorrentes: Corte do tipo faca, corte em ranhura e furação cilíndrica.

O sistema de corte do tipo faca (*kerf*) consiste em rasgos contínuos ou descontínuos a meio da espessura da pedra nos bordos de suporte, onde uma cantoneira com extremidade em T ou abas alternadas apoiará a placa.

O sistema de ranhura circular ou prismática e o sistema de furação cilíndrica são similares. No primeiro, a placa é apoiada em discos, com cada disco recebendo até duas placas, tantos nos bordos verticais como nos horizontais. No segundo caso, as ranhuras assumem a forma de perfurações, e os discos, de cavilhas. Em ambos os sistemas, só poderão ser executados duas perfurações por bordo apoiado para evitar tensões e fracturas devido a possíveis desalinhamentos. As cavilhas ou discos inferiores respondem principalmente à acção do peso próprio da peça enquanto os superiores travam a pedra de tombar para a frente. A solução de furação cilíndrica é uma das mais utilizadas em Portugal.

Existem outros tipos de fixação utilizados convencionalmente na construção como aperto com parafusos, ou assentamento de maciços através do uso de estruturas de betão (como por exemplo em alguns muros). Também existem técnicas especializadas, decorrentes da evolução das técnicas tradicionais de construção, para manusear pedras xistentas e a sua fragilidade inerente, baseadas em clips ou ganchos metálicos anticorrosivos presos a uma estrutura leve secundária metálica ou em madeira, originando o aspecto característico ‘em escama’ deste revestimento pétreo.

Um sistema de furação, enquadrado dentro da furação cilíndrica, é o sistema *undercut*, que apesar de praticamente desconhecido em Portugal, é bastante popular na Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos da América. O sistema consiste na furação do tardo da placa



Pormenor da cabeça expansível da cavilha do sistema undercut

Fig. 224_Esquema de fixação indirecta do sistema undercut

para inserção de um perno especial. Como a furação é mais larga no interior da placa, a cabeça expansiva do perno, por pressão radial, prende a placa ao suporte. Em geral, tratam-se de elementos discretos de ancoragem directa entre a placa e a estrutura principal ou a uma estrutura secundária. Apesar do sistema ser relativamente simples, a imposição de rigor e qualidade no processo de furação do tardo para o sucesso da aplicação em geral pretere este método em relação a outros menos exigentes, como a furação cilíndrica.²⁰⁹

As ancoragens devem incorporar no seu desenho uma pingadeira ou um qualquer artifício que impeça a transição de água líquida entre as duas superfícies afastadas pela caixa-de-ar, assim como é importante iterar que devem ser anticorrosivas ou isoladas electricamente a fim de evitar processos de corrosão e consequentes anomalias.

Apesar do sistema de fachada ventilada permitir a circulação de ar e a ventilação do tardo das pedras evitando humidades que contribuam para o envelhecimento prematuro do elemento, os sistemas de fixação indirecta apresentam problemas quando não são devidamente acautelados na fase de projecto. Todos os elementos do revestimento, desde a dimensão das placas, a espessura, as furações, o posicionamento das ancoragens, etc., devem ser calculados. Estes cálculos devem prever a sustentação do revestimento pétreo, a sua resistência às acções do vento e às vibrações e expansões que sejam sujeitas, e ainda contemplar a resistência da própria pedra às ancoragens. A placagem exterior requer estes cuidados decorrentes dos fenómenos de dilatação térmica e movimentações dos elementos da construção. A aplicação da placagem deve prever juntas de dilatação verticais de 6 em 6 metros com largura mínima de 10 mm, assim como juntas para a movimentação entre elementos contíguos. A determinação da espessura da junta depende do material usado e da sua área, pois, por exemplo, recomenda-se 2 mm para ladrilhos colados mas no caso da placagem grampeada com junta aberta, recomenda-se 6 mm para placas até 0,3 m², 8 a 10 mm para placas na ordem de 1 m² e 10 a 12 mm para tamanhos superiores. Caso estes valores não sejam respeitados podem originar-se anomalias da mesma ordem que as da fixação directa: lascagem, fracturação e desprendimento. Todavia, os riscos e danos são potencialmente maiores na placagem exterior devido à dimensão, espessura e altitude que as placas de pedra podem apresentar.

Nas situações em que se efectue a selagem das juntas, é conveniente que o vedante seja elástico e impermeável. A

209. AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, pp. 505-509



Fig. 225 Zona da placagem de granito próxima ao tubo de queda apresenta inúmeras alterações, desde manchas, corrosão biológica e descoloração, rua interior da Faculdade de Letras, Porto (2018). A má execução do encontro entre o sistema de fixação e o sistema de drenagem de águas pluviais, a caixa do tubo de queda que marca o início das alterações, promove o desenvolvimento de anomalias. A gestão das águas é da mais alta importância para a conservação da construção

impermeabilização das juntas não deve comprometer a respiração da pedra, isto é, o vedante deve ser permeável ao vapor de água para que em cooperação com a ventilação providenciada pela caixa-de-ar se evitem colonizações, concreções ou depósitos superficiais.

A água, como o agente de degradação mais agressivo, deve ser sempre estudada em qualquer sistema de fachada pétreo (ou qualquer outro), de fixação directa ou indirecta. O detalhe construtivo deve incluir no sistema de drenagem das águas pluviais a drenagem das humidades na base das fachadas.²¹⁰

210. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 112-113



Fig. 226_Marmorite. O regresso da tendência está conectado ao desenvolvimento das argamassas e compostos pétreos que possibilitam um material com mais plasticidade e possibilidades de criação, enquanto promove a reciclagem ou a utilização de estéreis

3_Tendências e Evolução

3.1_Compósitos

Estará a pedra limitada a utilizações simples e directas, ligadas à tradição construtiva? Isso dependerá da idiossincrasia do arquitecto, pois é ele quem limitará os materiais com que trabalha. Como constatado, é a inovação tecnológica ou intelectual que permite tornar a pedra competitiva com outros materiais. As últimas evoluções tecnológicas, em paralelo com o aprofundamento da ciência dos materiais, conduzem a pedra para três evidentes direcções demonstrando as exigências do mercado e manifestando as principais preocupações actuais dos arquitectos: a tradição da pedra, a sua extenuação e a sua inovação²¹¹. Enquanto arquitectos procuram manter uma ideia de tradição da pedra, caindo ou não em ambiguidades historicistas, cópias e anacronismos, grande parte do avanço tecnológico tenta levar a pedra ao seu extremo, quer ornamental quer estrutural. O próprio desenho CAD (*Computer Assisted Drawing*), como exposto, impulsionou a indústria da exploração da pedra permitindo atingir novos níveis de exigência. A exigência de forma e detalhe gerou a exigência de desempenho que levou ao surgimento dos derivados da pedra que procuram evoluir o material natural.

Os derivados da pedra, compósitos, decorrem da tendência crescente da redução da espessura da pedra, todavia também da procura de melhoria das suas características físicas, mecânicas e químicas. Os compósitos são materiais constituídos por duas ou mais substâncias a fim de se obter um melhor desempenho global quando comparado com os materiais isolados. No caso dos derivados pétreos, uma dessas substâncias é a pedra. Os compósitos mais comuns, e comercialmente distribuídos, assumem a forma de finíssima placas onde a camada de pedra possui um décimo da espessura das comuns placas de espessura reduzida. Eles devem ser contemplados pois representam uma maior eficácia do aproveitamento da matéria extraída com redução de resíduos, menor peso por unidade e redução de custos de transporte e de manutenção, pois as técnicas utilizadas asseguram simultaneamente uma maior duração e qualidade do produto. Tudo factores que podem ser decisivos dentro das escolhas de projecto.

Leveza, resistência mecânica, durabilidade e redução de custos são as principais características deste tipo de produto. Estes compósitos pétreos são cerca de 80% mais leves por metro quadrado e apresentam

211. RAGONE, Marcantonio. *Tecnologie e nuove tendenze*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 41

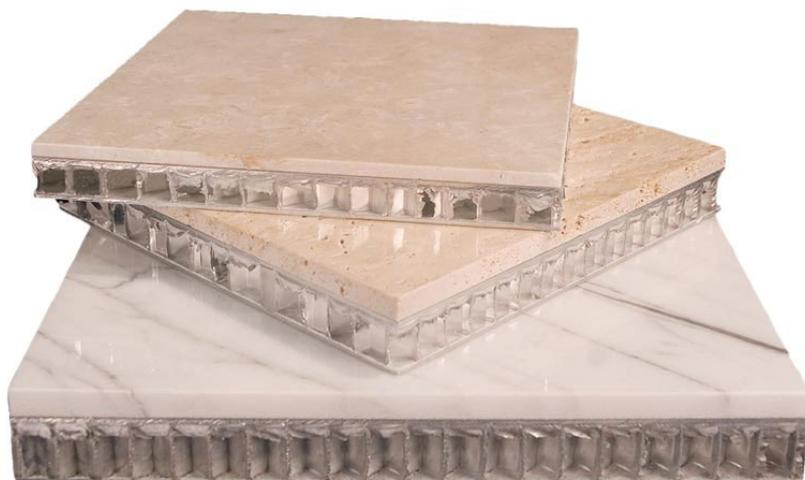


Fig. 227_Compósito pétreo de estrutura favo em alumínio com exemplares em calcário, travertino e mármore



Fig. 228_Compósito pétreo bi-composto de porcelana com exemplar em coralito

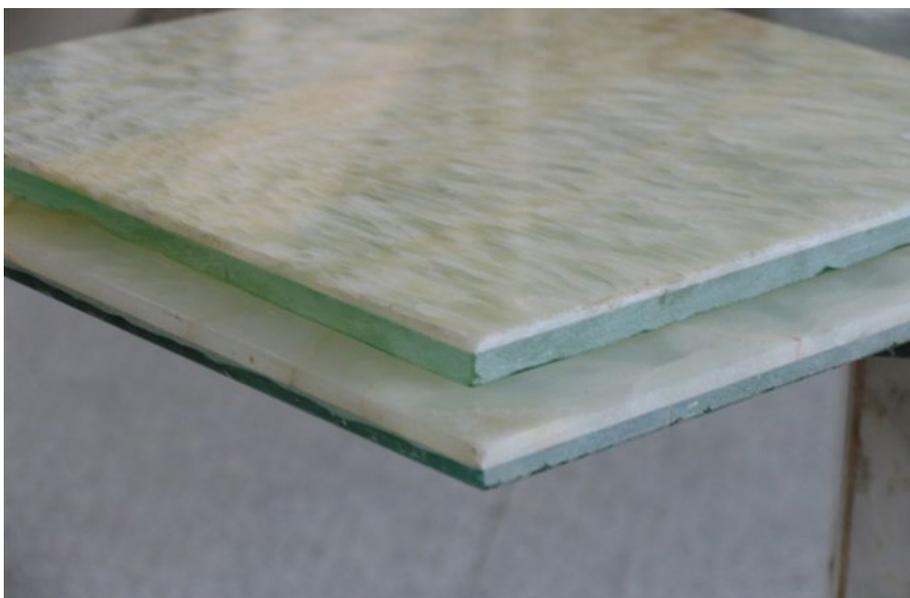


Fig. 229_Compósito pétreo de reforço com vidro, com exemplar em ônix calcário verde

uma resistência 50 vezes maior do que as placas de pedra de espessura reduzida de dimensões similares. Esta resistência compreende não só um bom desempenho na resistência ao impacto, à flexão, à tracção, à corrosão mas também boa resistência à passagem do som, temperatura (condução) e fogo.

A conjugação de materiais advém do problema já apontado que a pedra quanto mais fina, mais fraca se torna. A necessidade de reforçá-la transforma-se na oportunidade de melhorá-la. O reforço faz-se com recurso a diversos materiais. Malhas (ultra-resistentes) de fibra de vidro aglutinada por cola epóxi conferem à placa de pedra um aumento de resistência à flexão e impermeabilização. A sua espessura pode atingir até um mínimo de 4 mm dependendo da dimensão das peças e esforços solicitados. Estas placas são em geral aplicadas for fixação directa por colagem pontual em quincôncio que deve respeitar as indicações do fabricante.

Uma sanduiche de folha de alumínio, estrutura hexagonal de alumínio (favo de mel ou *honeycomb*) e uma camada de fibra de vidro é aglutinada com colas epóxi e fibras a uma placa de pedra natural, conferindo-lhe uma alta resistência às acções sísmicas, alta resistência à tracção, flexão, e impermeabilização quando comparada com placas de pedra natural das mesmas dimensões totais. As placas deste compósito possuem espessuras variadas, com a estrutura hexagonal com tamanhos desde os 4 a 18 mm consoante a dimensão da peça, e com a pedra com espessuras de 3 a 5 mm. Este compósito de alumínio atinge espessuras totais desde os 6 aos 25 mm. A sua enorme flexibilidade permite a sua utilização em pilares de secção redonda. Podem ser fixadas directa ou indirectamente, por colagem pontual ou por encaixe a uma estrutura ligeira secundária de alumínio.

Outro processo usa uma camada porcelânica de 8 mm aglutinada por cola epóxi a uma camada de pedra de 4 mm, que confere à peça um aumento da sua resistência mecânica, um bom comportamento à humidade e à variação térmica, quer das amplitudes diárias ou sazonais. Estes mosaicos bi-compostos são aplicados directamente com cola de cimento e resina que garante uma boa flexibilidade à união entre o mosaico e o suporte.

Placas de vidro também podem ser utilizadas como reforço. Ao aglutinar com cola epóxi placas de vidro com 6 a 8 mm de espessura a placas de pedra com 2 a 4 mm de espessura, usufrui-se da translucidez que a pedra obtém com espessura tão diminuta. A espessura da pedra



Fig. 230_Silestone Charcoal Soapstone, grande formato, textura suede, acabamento polido



Fig. 231_Silestone Eternal Marquina, grande formato, textura suede, acabamento polido

será tão menor quanto mais densa ela for.²¹² Estes compósitos tentam reproduzir as propriedades prerrogativas dos mármore e calcários cristalinos, assim como dos ónixes, que exibem translucidez com espessura reduzida, por volta dos 25 mm. São aplicados indirectamente com estruturas ligeiras.

A outra variante dos compósitos pétreos, cada vez mais popular nos recentes anos, são as pedras artificiais, *engineered stones*, ou, como é vulgarmente conhecido, “Silestone”. Todavia pode ser nomeada por pedra aglomerada, *agglomerated stone*, termo reconhecido pela norma europeia EN 14618. Este compósito, nomeado por um processo de metonímia (de uma marca) como tantos outros, é constituído por pedra ou minerais pulverizados aglutinados com resinas poliméricas ou misturas de cimento e constitui uma forma de aproveitamento de estéreis e redução de impacto ambiental. Os detritos pétreos, geralmente quartzo ou mármore natural, compõem cerca de 94% do compósito. As resinas utilizadas conferem ao produto uma superfície não porosa e altamente resistente a manchas e descolorações por sujidade, factor que permitiu ao ‘Silestone’ conquistar grande predominância em aplicações simples como bancadas de cozinha devido às características superiores às da pedra original. Outras utilizações incluem quartos de banho, revestimentos de parede e pisos, onde as produtoras asseguram uma quantidade reduzida de juntas já que lhes é possível fabricar grandes placas de características constantes e controladas. Estes produtos em geral possuem três tipos de espessuras, 1,2 cm, 2 cm e 3 cm, e podem atingir dimensões de 325 por 160 cm. O grau de artificialidade do compósito confere-lhe tanto uma plasticidade de dimensões como permite-lhe assumir um grande espectro de cores, matrizes e granularidades, desde fortes vermelhos ou agregados multicoloridos, lisa ou venada. Apresentam ainda alguns acabamentos possíveis, como o popular polimento ou o acabamento riscado.²¹³ O compósito ultrapassa o original em diferentes parâmetros todavia falha na resistência à radiação ultravioleta e na resistência ao fogo comparativamente com o granito natural.²¹⁴ Esta inovação tecnológica provem de Itália, uma grande produtora mundial de produtos pétreos assim como detentora de uma rica história com o material.

Enquanto as placas compósitas exibem a tendência da extenuação da pedra, da utilização máxima do bloco extraído, outra forma de compósito aposta na inovação da pedra. Os compósitos estruturais. A aliança entre a pedra e o metal para criar um sistema estrutural pré-

212. PINTO, Alberto Cruz Reares et al. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1º Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, pp. 132-136

213. SILESTONE. *O que é Silestone*. Consultado em 9-07-2018. Disponível em: <https://www.silestone.com/pt/o-que-e-silestone/>

214. SILESTONE. *Bancadas de granito vs granito*. Consultado em 9-07-2018. Disponível em: <https://www.silestone.com/pt/bancadas-de-granito-vs-quartzo/>



Fig. 232 *Opus sectile*, tigre a atacar cabra, Basilica de Junius Bassus, Roma, 325-350 d.C.



Fig. 233 Corte CNC por jacto de água. A evolução da tecnologia permite cortar elementos complexos com grande eficiência



Fig. 234 Mosaico pétreo em *opus sectile*

esforçado, similar ao betão armado. Estes sistemas são, sem dúvida, menos frequentes que as placas compósitas, figurando unicamente em obras arquitectónicas de carácter único ou experimental.

3.2_Extenuação da Pedra

As ferramentas são um dos principais agentes na tendência de extenuação da pedra. A pedra finíssima, cujo limite contemporâneo é 2 mm, ou de reduzida espessura é um fenómeno dessa tendência. O material é extenuado, levado ao limite da espessura, da precisão, da forma e eficiência, inigualáveis pelo trabalho manual de um mestre. As suas capacidades mecânicas são preterida em relação à sua valência ornamental, assumindo configurações e funções inesperadas, em parte recuperando técnicas antigas.

Uma das tecnologias mais cruciais é o jacto de água que permite corte em linhas curvas ou complexas, difíceis de obter com discos adiantados. Esta ferramenta, apesar de possibilitar a extenuação da pedra também revitalizou antigas tradições da técnica de intársia de pedra, ou *opus sectile*, devido à capacidade de produzir juntas com graus de erro inferior a 1 mm. Intársia de pedra é a técnica de construção de uma imagem através do arranjo em painel de pequenas pedras coloridas. É uma técnica similar ao mosaico que, todavia, não utiliza peças pequenas e regulares mas sim de formatos variados que requerem o encaixe perfeito entre todos os elementos, requisito que o corte computacional consegue satisfazer.²¹⁵

A evolução tecnológica atingiu um nível de controlo sobre os materiais de tal grau que transmutou-os em verdadeiros oximoros. Materiais a que associamos uma materialidade exhibe outra. Vidro opaco, betão transparente e pedra translúcida são alguns dos exemplos da nova materialidade que redefiniram o imaginário da arquitectura contemporânea.²¹⁶

Pedra translúcida é um elemento reexplorado do passado, que confere à pedra um desempenho inesperado, porém surpreendente e atraente, quer por recurso a pedras naturais ou compósitos a translucidez pétreia fascina pela sua natureza paradoxal. A luz ganha peso, cor e substância, quase como se tornasse num material corpóreo, propriedade que absorve da pedra quando a atravessa. A exploração do valor estético desta propriedade, por extenuação da pedra, figura como tema e imagem principal de diversas ‘arquitecturas de pedra’.

215. RAGONE, Marcantonio. *Tecnologie e nuove tendenze*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 43

216. LATORRE, T. e RISOLA, N. (eds.). *Involucri lapidei: L'uso della pietra per l'abitare contemporaneo*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2009, p. 13

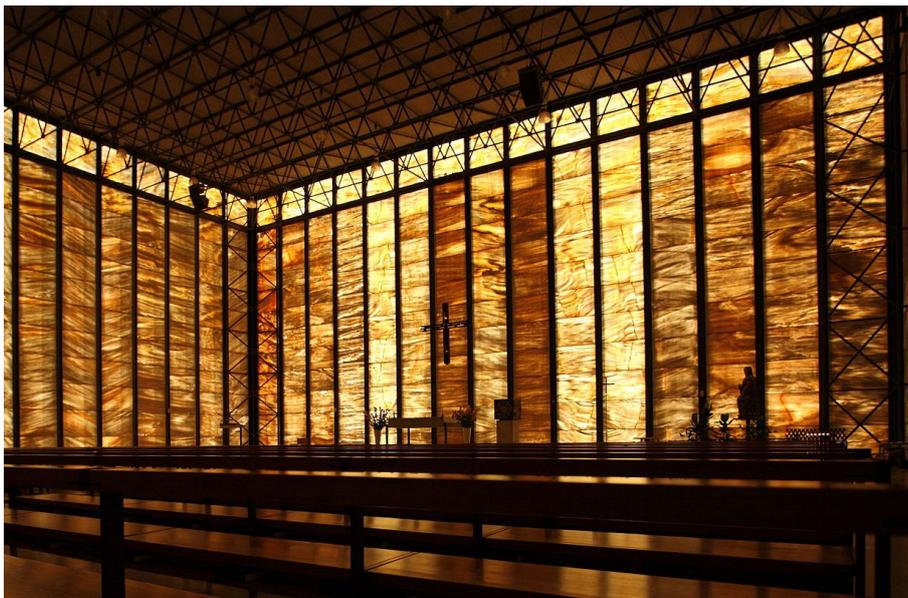


Fig. 235_Vista interior de St. Pius Church, Meggen, Suíça, Franz Füg, 1966



Fig. 236_(esq.) Vista exterior de St. Pius Church, Meggen, Suíça, Franz Füg, 1966

Fig. 237_(dto.) Vista exterior de Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University, EUA, Gordon Bunshaft, 1963



Fig. 238_Pormenor interior da fachada translúcida da Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University, EUA, Gordon Bunshaft, 1963

St. Pius Church, Meggen, Suíça, 1966, projectada por Franz Füg, apresentam-se pelo exterior como qualquer outra construção moderna em estrutura metálica, quase ostentando um carácter industrial, inacabado ou de exosqueleto. Porém, no seu interior, placas finas (28 mm) de mármore *Penthelian Dionysios* cuja aparência translúcida simula um vitral em quentes tons ocres, enchem o volume cego com uma luz digna de uma experiência religiosa. A Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University, EUA, 1963, projectada por Gordon Bunshaft do SOM²¹⁷, assimila um cofre de pedra monolítico impenetrável para proteger o seu precioso conteúdo. A fachada pétrea é suportada por treliças Vierendeel²¹⁸ em aço revestido a granito cinzento no exterior e betão pré-fabricado de agregado de granito no interior, e descarrega nos maciços pilares dos cantos. A treliça é tamponada por finas placas de mármore branco venado translúcido que conferem ao interior uma misticidade dourada, como se o interior fosse revestido por ouro enquanto o protege da radiação solar.²¹⁹

Estas duas obras exibem o potencial de manipulação da luz e do ambiente do espaço através do material (supostamente) mais opaco, inflexível e pesado da natureza, para criarem ambientes translúcidos, mutáveis e leves.

3.3_Inovação da Pedra

Enquanto o material perde espessura para glorificar o seu valor estético e ornamental, algumas obras exaltam as suas capacidades mecânicas, considerando a sua materialidade e a sua vocação estrutural, conferindo-lhe dimensões corpulentas. Todavia, a valência estética não é descartada, mas antes levada a coexistir brilhantemente com a valência mecânica, um enaltecendo a outra. Este traçado de cooperação entre as duas valências do material pétreo talvez deva ser considerado como testemunho de uma estereotomia moderna.

Em geral, essas obras recorrem a estruturas de reforço, integradas na pedra, como cabos, tirantes ou armaduras em aço, os referidos compósitos estruturais. Experiências na direcção de ‘pedra pré-esforçada’, mármore mais especificamente, já ocorreram nos anos 60. O arquitecto Cecchini, com os engenheiros Cartei di Pisa e Zorzi di Vernona, conceberam em 1965 uma passerelle rematada com escada, composta por duplos T’s em mármore reforçados com cabos de aço. O valor experimental da singela passerelle abriria caminho para

217. Skidmore, Owings & Merrill LLP – uma das maiores e mais influentes empresas de arquitectura, desenho de interior, engenharia e planeamento urbano no mundo. Fundada em 1936 com mais de 10 mil projectos em 50 países. In SOM, *Who We Are*. Consultado em 14-08-2018. Disponível em: <https://www.som.com/about>

218. É uma treliça cujos nós são rígidos dispensando os tirantes diagonais e a triangulação do vão.

219. SOM. *Yale University – Beinecke Rare Book And Manuscript Library*. Consultado em 14-08-2018. Disponível em: https://www.som.com/projects/yale_university__beinecke_rare_book_and_manuscript_library

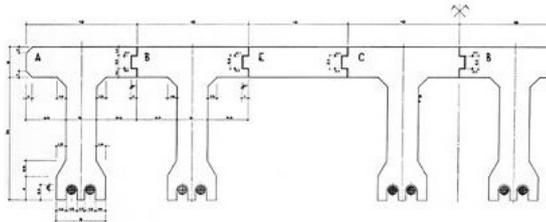


Fig. 239_(esq.) Passerelle de mármore reforçado, 1965. É possível ver os duplos T's no espelho entre a escada e a passerelle, cujo pormenor indica que utiliza encaixe macho-fêmea entre os elementos pétreos

Fig. 240_(dto.) Módulo do pórcico que constitui o Pavilhão do Futuro, Peter Rice, 1992

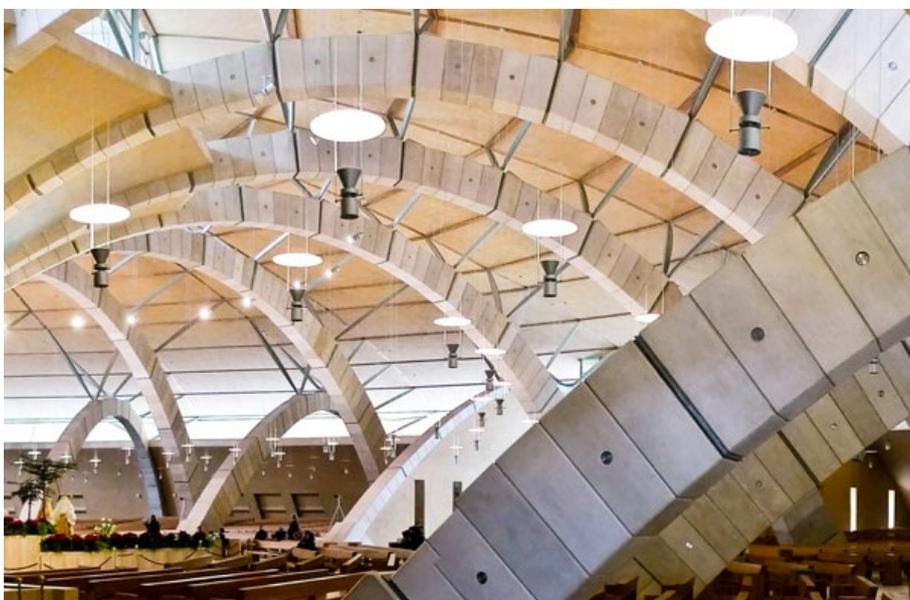


Fig. 241_Vista interior do leque de arcos que compõe Chiesa di Padre Pio, San Giovanni Rotondo, Puglia, Renzo Piano, 2004



Fig. 242_Pormenor do arranque dos arcos do altar, Chiesa di Padre Pio, San Giovanni Rotondo, Puglia, Renzo Piano, 2004

o desenvolvimento de obras singulares. Essas obras são de extrema importância e interesse devido ao carácter experimental de associação de materiais, conservando a vocação estrutural principal de ambos, pedra para trabalhar à compressão e aço para trabalhar à tracção.

Peter Rice em 1992, apresentou na Expo 92 em Sevilha, o Pavilhão do Futuro, um pórtico esquelético de 30 metros de altura e 260 metros de comprimento, composto por uma estrutura em granito rosa e um sistema de cabos e tirantes ancorados de forma a apenas induzir esforços de compressão aos módulos graníticos. Peter Rice não se limitou a apresentar uma obra de grande valor experimental, mas sim estabeleceu uma nova meta de possibilidades que a cooperação da pedra e metal podem atingir. Tal como Stirling, o Pavilhão do Futuro pode ser considerado um manifesto edificado.

A experiência de engenharia e arquitectura desenvolvida por Peter Rice mais tarde seria um contributo importante para Renzo Piano com a Chiesa di Padre Pio Pietrelcina, San Giovanni Rotondo, Itália, 2004. A obra de planta em espiral de Arquimedes é composta por 22 impressionantes arcos em pedra de Apricena (pedra sedimentar calcária) pré-esforçada por cabos de aço. O leque radial de arcos, o maior conquistando 50 metros de vão e 15 metros de altura, suporta a cobertura do edifício enquanto libertam o espaço interior mas também conduz a atenção para o altar. Ambas, estética e segurança, foram alvo de várias preocupações, já que os arcos de secção variável, que reduz até à pedra de fecho para induzir uma sensação de leveza, foram reforçados com argamassa de fibra de aço para absorção de energia no caso de um evento sísmico. A estrutura, apesar de composta maioritariamente por pedra, material pouco dúctil de legislação ausente para valores mínimos de comportamento como material estrutural, foi desenhada e testada para resistir a forças 6 vezes superiores às dos terremotos geralmente registados na área.²²⁰ O compósito estrutural exalta a pedra pelas suas qualidades tradicionais de força, e celebra a sua beleza e charme natural.

Outro arquitecto, entre vários, que se destaca na área da inovação da pedra é Angelo Mangiarotti com uma experiência de manipulação da pedra com mais de dez anos. A obra deste arquitecto ilustra as potencialidades das ferramentas de corte com a fabricação de elementos curvos de alto rigor, otimizando o uso do bloco extraído. Para além de esculturas e mobiliário em pedra, ele projectou o Centro Direzionale della Internazionale Marmi e Macchine Carrara (CarraraFiere), de

220. WIKIPEDIA. *Santuario di San Pio da Pietrelcina*. Consultado em 21-07-2018. Disponível em: https://it.wikipedia.org/wiki/Santuario_di_San_Pio_da_Pietrelcina



Fig. 243 Pormenor da abóbada triarticulada, Centro Direzionale della Internazionale Marmi e Macchine, Carrara, Angelo Mangiarotti, 1993



Fig. 244 Desenvolvimento do projecto da Sagrada Família. A modulação 3D e a impressão 3D são as principais ferramentas de trabalho



Fig. 245 Módulo do composto pétreo (pedra reforçada por cabos de aço horizontal e verticalmente) que constituem as torres centrais

1993, cuja cobertura é o elemento de destaque. É formado por abóbadas de pedra, todavia não montadas com a técnica esperada. Sete abóbadas em mármore branco de Carrara vencem um vão de 5 metros cada, onde cada abóbada simplesmente assenta em vigas metálicas quadradas. Cada um das estruturas de pedra é constituída por duas placas curvas, correspondendo a um quarto de círculo, unidas por um simples encaixe macho-fêmea. Cada abóbada é efectivamente a repetição de um módulo de apenas dois elementos discretos curvos, o que resulta num arco triarticulado.²²¹ Esta obra é um claro exemplo da alma criativa e experimental provocada pelo uso da pedra como estrutura.²²²

É inegável a envolvimento das novas tecnologias, não só nos materiais de construção mas no projecto. Um caso excelente desta cooperação é a incrível obra ainda em construção do Templo Expiatório da Sagrada Família, Barcelona, Espanha, desenhada pelo arquitecto Antoni Gaudí. Exponente máximo da assinatura muito própria do arquitecto, com inspiração na natureza, matemática, geometria e do próprio divino, toda a construção é uma total alegoria. Este templo concilia técnicas e materiais antigos com tecnologias e paradigmas novos. Com a construção iniciada em 1883, a basílica atravessou diversos períodos de construção, até à actualidade, onde se recorre ao uso de *software* 3D e ao corte automático tridimensional para desenvolver as maquetes e as peças complexas de alvenaria de pedra que requerem a exactidão de milímetros. Toda a informação vai directamente do modelo digital para o braço robótico permitindo reduzir tempo e custos.²²³ Posteriormente, as peças são trabalhadas por artesões que lhes conferirão a textura que apenas um mestre consegue, congruente com a textura da basílica.

Esse foi o paradigma utilizado para o desenho estrutural das últimas seis num total de dezoito torres, que ilustram claramente a aliança entre pedra e as novas tecnologias. Conscientes que uma torre em pura alvenaria ou betão armado reforçado contra terramotos revestido a pedra fariam as torres demasiado pesadas para as fundações, foi desenvolvido um sistema que utiliza a própria pedra estruturalmente enquanto reduz o peso da estrutura para metade. Este esquema não só permitiu reduzir os custos de construção, pagos unicamente por doações, como também acelerou o processo construtivo. A estrutura desenvolvida tridimensionalmente, modelada até ao mais ínfimo pormenor como os parafusos, utiliza um compósito de painéis de alvenaria de pedra pré-esforçada por prumos de cabos de aço. Esta

221. F A R I N A COSTRUZIONI. *Completed projects*. Consultado em 21-07-2018. Disponível em: <http://www.farinacostruzioni.it/en/progetti-realizzati/progetto.asp?codice=6>

222. RAGONE, Marcantonio. *Tecnologie e nuove tendenze*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). Dalla pietra

223. IOM3. *Material Marvels: Basilica de La Sagrada Família*. Consultado em 9-07-2018. Disponível em: <http://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2017/jul/03/material-marvels-basilica-de-la-sagrada-familia>



Fig. 246_Montagem da Torre de S. Marcos com os painéis do compósito estrutural pétreo



Fig. 247_Pormenor do cruzeiro e das colunas de pór-firo vermelho na Sagrada Família



Fig. 248_Sagrada Família, vista aérea (2018)

solução permite aos painéis resistir a esforços solicitados por vento e terremotos assim como serem instalados, apesar de possuírem 5 metros de altura por 4 de largura, em apenas meia hora, não só agilizando todo o processo, mas também promovendo a segurança dos trabalhadores.²²⁴

Esta obra é especialmente interessante por incorporar diversos tipos de pedras na sua construção que decorre da conciliação entre as características intrínsecas e da grande preocupação atenta à devida condução das cargas e dos seus efeitos desestabilizadores. Apesar de ter sido desenhada para utilizar apenas a pedra mais eficiente em termos de proximidade, resistência e desempenho, o projecto enfrentou algumas complicações. A pedra eleita, de Montjuïc, respondia a todas as exigências. É uma pedra sedimentar siliciosa bastante resistente e durável que apresenta também grande variedade cromática desde branco, cinzentos, vermelhos, rosas, beges e ainda azuis. Todavia um impasse retirou a pedra das opções dos construtores. Em 1970, as pedreiras em Montjuïc, o único local possível para extrair este tipo de pedra, fecharam, o que obrigou a basílica a utilizá-la apenas quando conseguisse resgatá-la de outros edifícios demolidos ou de outras fontes secundárias. A procura por uma pedra o mais similar possível em desempenho e aparência começou, assim como de uma pedreira que conseguisse satisfazer as necessidades volumétricas da construção. A solução encontrou-se em diversos granitos de grão fino, química e esteticamente similares à pedra sedimentar. Outras espécies pétreas figuram nessa obra de forma elegante, simbólica ou ornamental. A título de exemplo, os quatro pilares centrais da basílica são de uma pedra distinta das restantes, pórfiro vermelho do Irão (rocha ígnea intrusiva de textura porfírica), cuja tonalidade lhe confere a simbologia incrível de sangue de Cristo, mas também cuja dureza e resistência à compressão a torna perfeita para o esforço mecânico solicitado. Mais de cinquenta tipos de pedras materializam esta obra, desde mármore italianos, calcários espanhóis, granito brasileiro, basalto europeu, e muitos mais, e todas elas figuram de alguma forma valores estéticos e mecânicos excepcionais para o trabalho que desempenham. Toda esta atenção ao comportamento, desempenho e aspecto dos materiais utilizados, a conciliação de diferentes materiais e a adaptabilidade às novas tecnologias, visam assegurar a durabilidade tectónica e visual da obra por muitos mais anos do que o seu estaleiro durou.²²⁵

Mesmo com séculos de história e relações entre construtores, arquitectos e engenheiros, a pedra ainda é capaz de oferecer desempenhos

224. ARUP. *Completing La Sagrada Família: a collaboration in digital and stone*. Consultado em 9-07-2018. Disponível em: <https://www.arup.com/projects/sagrada-familia>

225. Blog Sagrada Família. *Where do the stones being used to build the Sagrada Família come from?*. Consultado em 9-07-2018. Disponível em: <https://blog.sagradafamilia.org/en/divulgation/where-do-the-stones-being-used-to-build-the-sagrada-familia-come-from/>



Fig. 249_(esq.) Exposição da Marmi Pietre e Design, Marmomac 2015. Mesa de pedra translúcida

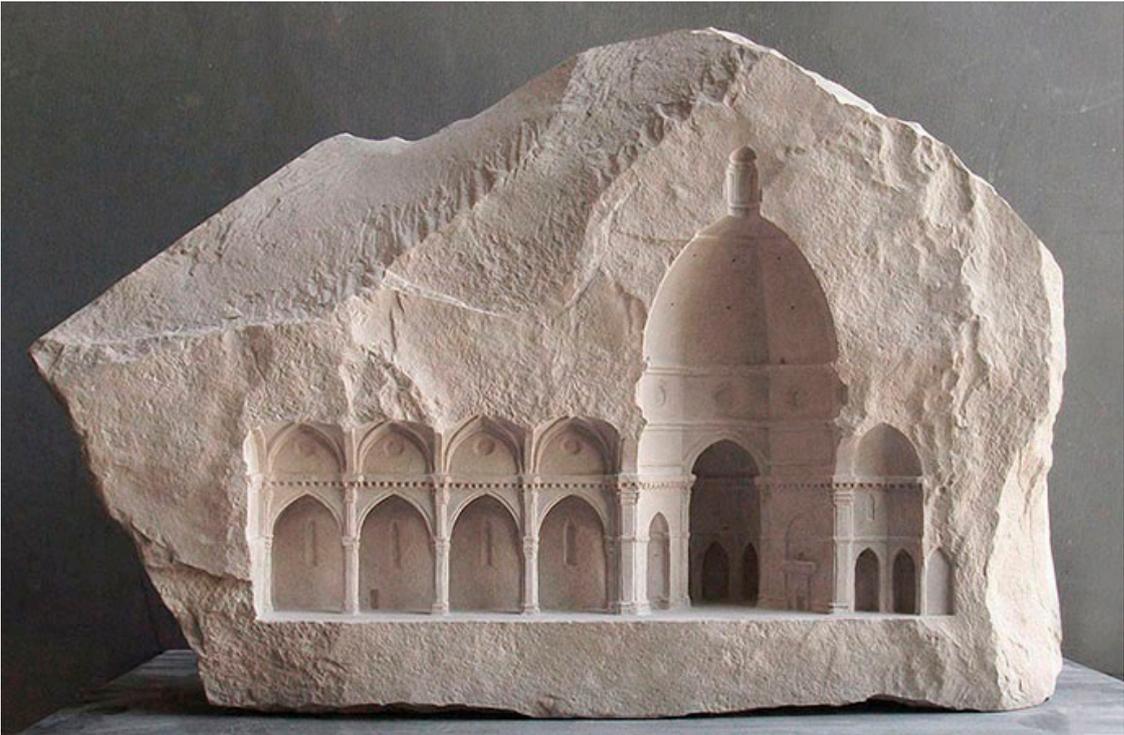
Fig. 250_(dto.) Exposição do gruppo Toscomarmi, Marmomac 2015. Gama de revestimentos

inesperados, imagens inusitadas e possibilidades criativas. Nenhum caminho foi completamente vedado já que a criatividade com a pedra estimula tanto a automatização de produção computadorizada, como também o trabalho artesanal. Ambos estão prontos para responder às exigências do mercado, à exigência do nível de qualidade necessária para projectos dessa ambição.²²⁶ Quer seja pela exasperação da pedra, pelos oxímeros ou compósitos, ou pela inovação, pelas estruturas mistas ou estereotomia moderna, o enorme avanço tecnológico, científico, comercial e industrial da pedra é inegável. Este material foi sendo capaz de se adaptar e actualizar às exigências do tempo, aumentando progressivamente a sua compatibilidade e atractividade no mercado contemporâneo.

De novo se reforça a importância da assimilação de todas as dimensões presentes no acto de projectar e construir pois compreender e conhecer todos os materiais envolvidos na construção é crucial para os explorar, potenciar e exaltar enquanto se assegura o sucesso da materialização de uma ideia.

226. RAGONE, Marcantonio. *Tecnologie e nuove tendenze*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 44

Pedra: Matéria, Método e Materialização



Capítulo 3

Materialização

Exemplos 211



Fig. 251_Miradouro da Acrópole de Atenas



Fig. 252_Detalhe da alvenaria de elementos reciclados da Igreja de St. Dimitris Loumbardiaris



Fig. 253_Pavimento dos percursos pedonais

Capítulo 3_Materialização

1_Exemplos

O acto construtivo encerra em si a materialização de uma ideia, a concretização física de um conceito mental governado por lógicas, técnicas e ferramentas desenvolvidas pela inteligência humana. O domínio de todos esses campos exalta o simples arranjo de elementos a uma construção, e a mestria nas técnicas e dos materiais expande as suas capacidades e define novas limitações. A compreensão dos valores estéticos, tectónicos e mecânicos da pedra é o que permite a um mestre utilizá-la de formas inusitadas todavia inspiradoras.

Apresenta-se uma lista de casos de estudo que devem ser entendidos como uma pequena amostra do vasto espectro das aplicações dos materiais pétreos, e que marcam a sua presença como exemplo paradigmático ou como um modelo experimental ilustrando a potencialidade da pedra.

1.1_Acrópole de Atenas

O plano de requalificação do local arqueológico da Acrópoles de Atenas, vítima de negligência por passadas intervenções ou abandono, executado entre 1954 e 1957, é desenvolvido por Dimitris Pikionis e representa a materialização da devoção do arquitecto à paisagem ática, cuja paixão foi nutrida desde tenra idade. Sempre presente no local, todos os dias, meses a fio, a sua metodologia levou-o a dialogar com os artesãos encarregados do assentamento dos ‘novos’ pavimentos que caracterizariam a paisagem. Os atrasos foram uma constante inegável, mas a determinação e o empenho do arquitecto nunca vacilou. O projecto incluía o planeamento urbanístico e paisagístico de toda a área da Acrópoles, incluindo o desenho de um pavilhão perto da igreja de S. Dimitris Loumbardiaris, tal como requalificações da igreja e a casa do pároco. O primeiro acto de Pikionis foi a remoção de todas as instalações que ofendessem o carácter histórico e estético da área, tal como as vias de asfalto.²²⁷ A afinçada colaboração com os artesões decorria da sua inclinação para sempre explicar o que queria fazer, em vez de como, permitindo aos mestre do ofício e colaboradores de intervir significativamente para o desenvolvimento do projecto com iniciativas próprias enquanto coordenador. A escala do projecto, todavia,

227. ARCHITECTURAL ASSOCIATION LONDON. *Dimitris Pikionis, Architect 1887-1968: a sentimental topography.* London: Architectural Association, 1989, p. 72



Fig. 254 Figura do sol, detalhe da pavimentação que utiliza tijolo e diferentes tipos de pedra



Fig. 255_(esq.) Pavimento e banco em miradouro para a Acrópole na abertura da vegetação

Fig. 256_(dto.) Percurso de acesso à Acrópole, sem eixos ou exaltação de monumentalidade



Fig. 257 _Detalhes dos múltiplos arranjos de mármore e calcários que compõem a pavimentação

impediu-o de supervisionar tudo, o que levou à ocorrência de erros que teriam que ser rectificadas no local. Pikionis procuraria um princípio na qual pudesse incorporar o erro num sistema de excepções e assim reforçar a geometria predeterminada. O arquitecto não simplesmente ponderava, ele trabalhava directamente com os elementos, movendo-os pessoalmente, em todas as possíveis configurações até estar certo do resultado. Consciente das suas limitações, converteu-as em força ao explorar todas as opções disponíveis. Os icónicos caminhos que conduzem ociosamente à Acrópoles são feitos de impulsos, ponderações, lógicas, poética e rigor.²²⁸

Os percursos são compostos de antigos fragmentos e novos blocos de pedra, quer recuperados de Museus ou encontrados *in situ*, densificados com nova vegetação. Todo o trajecto foi intimamente pensado, apesar de não desenhado. As próprias árvores foram pensadas para restituir o sentimento da arquitectura e paisagem grega, utilizando as mesmas espécies que adornaram os santuários na antiguidade, tal como a romãzeira, o loureiro e murta²²⁹. O caminhante é levado a descobrir a paisagem naturalmente, sem eixos ou monumentalidade, apenas com enquadramentos e paisagem crua. Por exemplo, o miradouro da colina Philopappu garante uma vista do Pártenon em escorço pelo ângulo de visão a trinta graus. O posicionamento das áreas de descanso são sinal do movimento orgânico e descontraídos, sempre perto da abertura da folhagem para capturar a luz do sol e a vista da Acrópoles.²³⁰ O arranjo ‘impulsivamente calculado’ é uma composição harmónica, é música petrificada sob forma de uma pauta de ‘textura primitiva’. A incorporação de elementos pétreos reciclados passa despercebida no conjunto. Embora represente um novo espaço público, a pintura perene de Pikionis reproduz a identidade da paisagem, passando a pertencer-lhe sem ser um simples acrescento. A requalificação urbanística da Acrópole ateniense por Dimitris Pikionis é um exemplo paradigmático do poder da cooperação entre mestres e artesões movidos pelo espírito do local, do desejo de reencontrar a identidade pela construção como ferramenta para reestabelecer a relação entre homem e paisagem, assim como a identidade de ambos. A pedra é percebida como fria e letárgica apenas para quem o material é estranho.

228. ARCHITECTURAL ASSOCIATION LONDON. *Dimitris Pikionis, Architect 1887-1968: a sentimental topography*. London: Architectural Association, 1989, p. 12-13

229. Idem, p. 75

230. Id., p. 82



Fig. 258_Estação de Metro da Trindade, Porto. O granito materializa pavimento e lambril tal como mobiliário (2018)

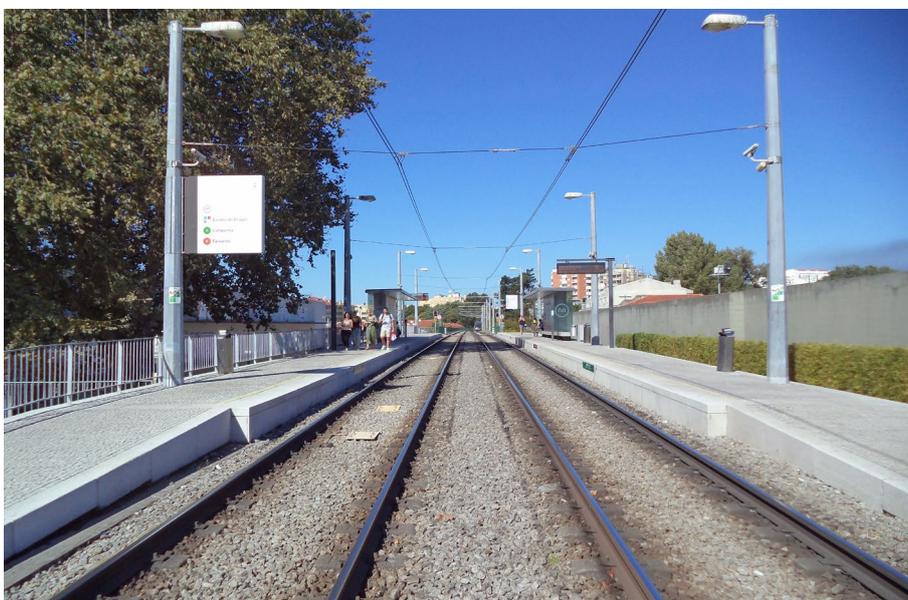


Fig. 259_Estação de Metro da Lapa, Porto. O granito materializa plataformas, via e estações (2018)



Fig. 260_Pormenor da Estação de Metro da Lapa, Porto (2018)

1.2_Metro do Porto

O Metro do Porto, um projecto em permanente actualização e expansão, viu a sua primeira linha inaugurada em 2002. Trata-se de um projecto não só de coordenação entre dezenas de especialidades como também apresenta vários objectivos dentro da transformação urbana e social, manifestando-se em serviço de transporte, equipamento urbano, passeios, redesenho de trânsito, arborização e novos hábitos de viver a cidade²³¹. Souto de Moura, apesar ter ganho o papel como único projectista para o desenvolvimento do projecto, entendendo o seu papel como coordenador, envolveu outros arquitectos portugueses no desenvolvimento do Metro do Porto, tais como Álvaro Siza, João Álvaro Rocha, José Gigante e Alcino Soutinho. Todas as intervenções foram desenvolvidas como projectos autónomos, todavia integrados num sistema de regras coordenado por Souto de Moura. Este sistema permitiu a uniformidade da imagem geral, assim como o controlo de custos e qualidade.²³²

Os materiais foram rigorosamente controlados desde o granito (Spi) Alpalhão, os azulejos, o gesso cartonado, o aço e o vidro, todos transformados em ‘elementos standardizados’ para a fácil gestão e manutenção da enorme obra pública.²³³ O uso do granito é particularmente fascinante pois esta obra demonstra-nos como os elementos pétreos respondem à industrialização e standardização para desenvolver projectos de imagem limpa e sóbria. Congruente com a lógica construtiva do Porto, cujo granito lhe é característico, esta espécie assume diversas formas, materializando grande extensão da obra, sob a forma de placagens de parede ou pavimento, cubo, guias e balastro. A simplicidade dos elementos, das técnicas e das lógicas (tradicional), assim como a extensão da sua aplicação, demonstra a versatilidade dos elementos pétreos para materializar espaço público e construir cidade, sem que tal represente um desafio ou um anacronismo.

231. FERNANDES, Fátima. *Eduardo Souto de Moura, a arquitectura do Metro: obras e projectos na Área Metropolitana do Porto*. Porto: Civilização, 2006, p. 19

232. Idem, p. 24

233. Id., p. 26

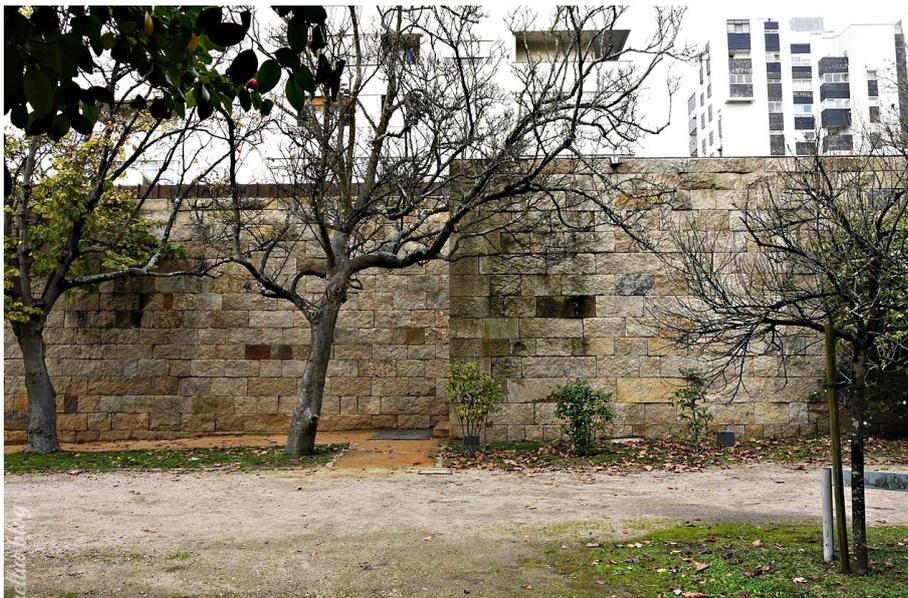


Fig. 261_Muro pétreo que separa o jardim do espaço interior do centro cultural. A integração ao local é total



Fig. 262_Vista interior onde, tal como a luz penetra, também a textura pétreo o faz



Fig. 263_Remate do edifício através de um simples jogo de muros, característico desta arquitetura silenciosa que complementa o jardim

1.3_Casa das Artes

A Casa das Artes, projectada por Eduardo Souto de Moura em 1985, com construção entre 1988 e 1991, é um exemplo paradigmático da subtileza da pedra²³⁴. O edifício é uma clara evidência da compreensão dos ensinamentos do Inquérito dos anos 50 por Souto de Moura, pois exhibe o compromisso da arquitectura de expressão formal moderna e uma execução técnica material de domínio tradicional²³⁵. A obra é levada à discrição total nos jardins do palacete neoclássico onde se integra, a Casa Allen, constituindo um dos limites dos jardins e assumindo o papel de muro. A obra é na verdade uma movimentação de muros que se destacam e copiam, criando um espaço interior controlado e rigoroso. A simplicidade dos silhares brutos, que compõem o revestimento de uma estrutura de pilares e vigas de betão armado, silenciam a obra porém não a apagam. A pedra é usada como elemento de integração e não de destaque, de tal forma que é estabelecida uma relação de coerência entre os objectos, governados e desenhados por lógicas distintas. O jardim, o palacete e o edifício-muro estabelecem um conjunto congruente graças à mestria da utilização da pedra no desenho do novo objecto introduzido. O simples muro não aclama a presença da arquitectura que guarda, porém o seu silêncio fala com mais poética que qualquer exibicionismo conseguiria.

234. MOLA, Francesc (ed). *Eduardo Souto de Moura, Architect*. Barcelona : Loft, 2009, p. 168

235. NEVES, António Luís Pereira da Silva. *Arménio Losa e Cassiano Barbosa, arquitectura no segundo pós-guerra: arquitectura moderna, nacionalismo e nacionalização*. Dissertação de Doutoramento, Porto: Faup, 2015, p. 407-408

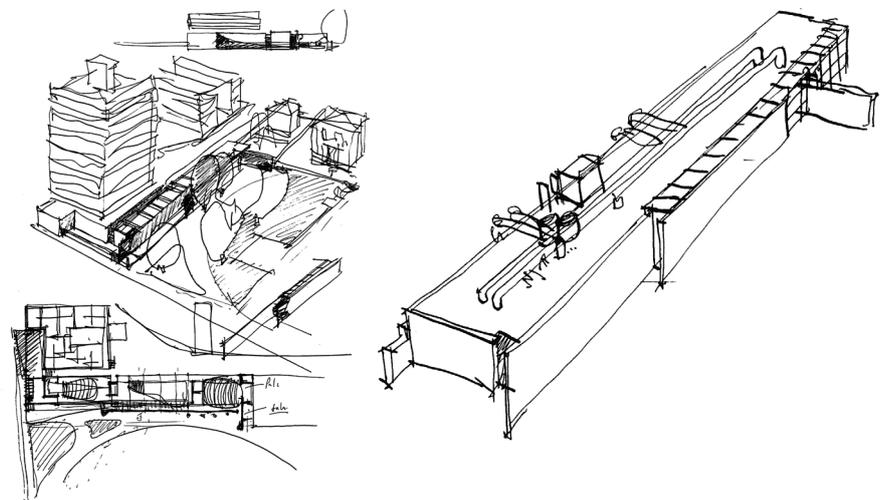


Fig. 264_Esquisso de implantação e volumetria, por Eduardo Souto de Moura



Fig. 265_Zona verde da explanada envolvida pelos muros de xisto, a materialidade que caracteriza a obra exteriormente

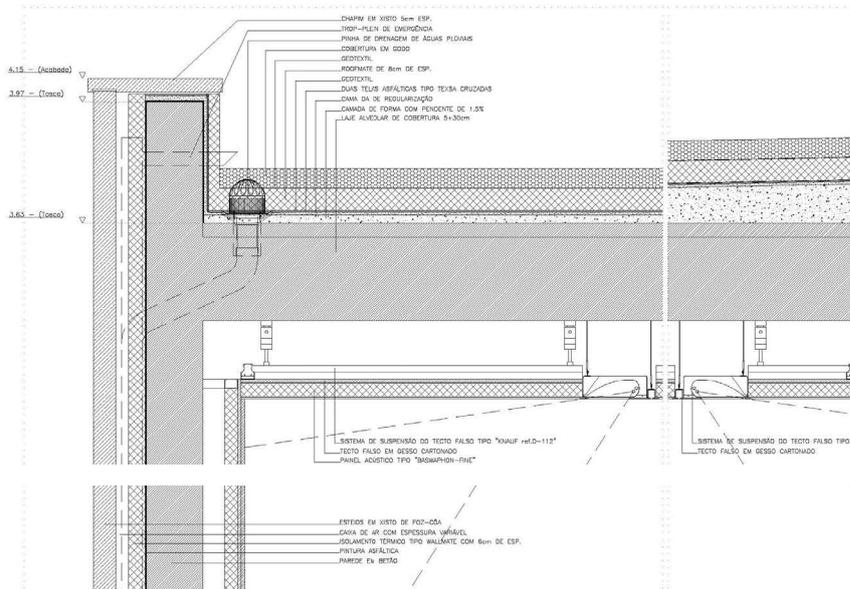


Fig. 266_Detalhe construtivo da fixação dos esteios de xisto



Fig. 267_Perfil construtivo do muro perimetral que marca a entrada. Betão revestido por esteios de xisto.

1.4_Espaço Miguel Torga

A instituição, projectada por Souto de Moura, construída entre 2007 e 2011, assume-se como um quadrilátero cujas paredes se propagam e apropriam o terreno. O volume é estruturalmente formado por paredes portantes de betão armado, revestido exteriormente por xisto de Vila Nova de Foz Côa.²³⁶ Esta obra é uma referência às pedras xistentas, que como foi explicitado, devido às suas características mecânicas, a sua fixação representa um desafio face a outros materiais pétreos. A mestria de Souto de Moura todavia enfrentou o desafio e desenvolveu uma solução para a aplicação do xisto, demasiado fraco para ser perfurado e grampeado. O xisto é usado verticalmente, como na tradição vernacular, em esteios autoportantes, travado unicamente pela peça de capeamento do muro. Os esteios foram cortados paralelos à clivagem da pedra assegurando a integridade da peça e o seu melhor desempenho. A obra é paradigmática da potencialidade da inventividade derivada do domínio do material pétreo e da tradição construtiva, resultando no desenvolvimento de um método de aplicação onde o xisto assume uma forma inesperada e uma expressividade singular.

236. *Eduardo Souto de Moura: 2009-2014*. N. 179. Madrid: El croquis ed., 2015, p.108 e 115

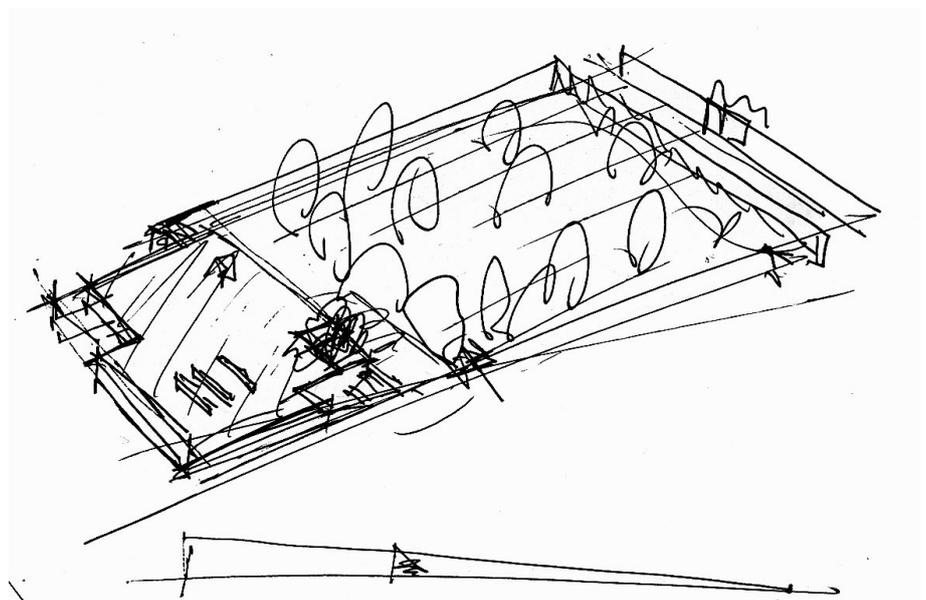


Fig. 268 Esquisso de implantação, por Eduardo Souto de Moura



Fig. 269_Armadillo Vault



Fig. 270_Armadillo Vault, vista aérea



Fig. 271_Processo produtivo dos elementos discretos onde após serragem automatizada, as lâminas geradas são partidas manualmente para obter a textura lascada final

1.5_Armadillo Vault

A instalação apresentada na exibição *Beyond Bending*, Bienal de Veneza de Arquitectura, 2016, é uma proclamação das capacidades mecânicas da pedra auxiliadas pelo poder computacional contemporâneo. O complexo puzzle de 399 peças de pedra calcária do Texas, EUA, foi concebido por uma extensa equipa cujo conceito partiu de Philippe Block, John Ochsendorf e David Escobedo. A peça arquitectónica é autoportante, estabilizada unicamente por forças de compressão dos elementos pétreos sem qualquer tipo de tensionamento por cabos de aço interiores ou aglutinantes, tal como os arcos ou abóbadas construídos há séculos. A pura estrutura estereotómica é uma abóbada de 18 metros de vão, cobrindo uma superfície de 75 m² com umas meras 24 toneladas.²³⁷ A peça é rasgada por dois pilares de suporte da sua sala de exposições exibindo a grande plasticidade da estrutura e do arranjo dos elementos discretos. As placas de pedra apresentam uma espessura variável desde os 5 cm (espessura mínima para evitar a fractura do elemento) aos 15 cm (presente na base), cujo extradorso apresenta uma expressão de escamaria devido ao corte recto dos elementos para evitar a serragem curva individual, e o intradorso apresenta uma textura lascada e riscada, produto de um acabamento manual ‘uniformizado’. O projecto desenvolvido em apenas cinco meses concebeu uma estrutura de fácil desmontagem e transporte para outras localizações, mas capaz de aguentar o peso de uma equipa inteira de futebol americano, cerca de 1,2 toneladas. A montagem é realizada com um simples cimbre de contraplacado que é retirado assim que a última peça do puzzle é inserida, trancando a estrutura.²³⁸ A evidência de uma estereotomia contemporânea, ainda que experimental e singular, não poderia ser mais evidente. Através do domínio da disciplina, da análise estrutural e do engenho tecnológico actual, a pedra transforma-se em estrutura autoportante, em peça arquitectónica e em demonstração do poder intrínseco do material, quer ornamental, quer mecânico.

237. ARMADILLO VAULT. *Announcing The Armadillo*. Consultado em 2-07-2018. Disponível em: <http://www.armadillovault.com/armadillo/>

238. STONE-IDEAS. *The Armadillo Vault*. Consultado em 2-07-2018. Disponível em: <https://www.stone-ideas.com/53092/the-armadillo-vault-at-this-years-venice-biennale-hovering-stone-puzzle-comprising-399-elements-and-a-mass-of-24-t/>



Fig. 272_ Möbius Sofa, peça da coleção Möbius Seats que incluem Chair e Lounge

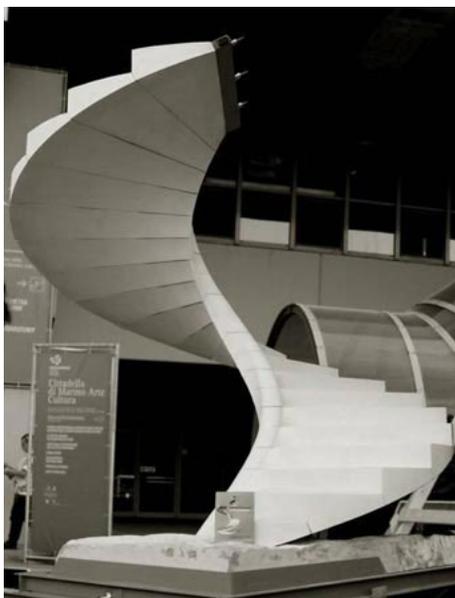


Fig. 273_(esq.) Escalier Riddolfi, escada autoportante de compósito estrutural de pedra (reforçada por 3 cabos de aço internos) desenvolvida por Giuseppe Fallacara, 2005

Fig. 274_(dto.) Escada autoportante em compósito estrutural de pedra executada pela The Stonemasonry Company, numa residência privada, 2016



Fig. 275_ Detalhe do encaixe dos degraus de calcário

1.6_Möbius Seats

Os Möbius Seats, desenvolvidos por Giuseppe Fallacara, um nome de destaque no campo da experimentação com a pedra, foram apresentados no Marmomac 2016. Constituem o apogeu da investigação dos compósitos pétreos e das suas técnicas de fabricação. A peça de mobiliário exhibe a tecnologia *Stone Skin*, o resultado do reforço de pedra *Perlato di Sicilia* (mármore calcário) com fibra de carbono. Os Möbius Seats são composto por uma banda contínua de 2 cm de pedra produzida por maquinaria CNC posteriormente aglutinada a uma camada de fibra de carbono. A sua forma enfatiza o potencial inexplorado da pedra como material contemporâneo, quer na arquitectura, quer no design, pela reminiscência à simples topografia, fita de möbius, que contribuiu largamente para o desenvolvimento matemático, geométrico e topológico.²³⁹

Os objectos desenvolvidos por Fallacara possuem grande valor experimental, não só pelas dinâmicas de desenvolvimento tecnológica mas também pela estimulação de inovação do desenho arquitectónico. Inspirado pelo trabalho de Fallacara e a sua *Escalier Ridolfi*, 2005, a empresa britânica *The Stonemasonry Company* construiu em 2016 a primeira escada de 320° desenvolvidos em dois lances, sem qualquer tipo de suporte. A escada ascende e flutua entre dois pisos graças ao compósito estrutural de pedra calcária francesa *Combe Brune* reforçada por dois cabos de aço com 12 mm de espessura posteriormente tensionados, cada um com 150 kN, de forma a suportar as 6,6 toneladas da estrutura. Os encaixes, a montagem, a perfuração, o peso e resistência da pedra foram cuidadosamente analisados para prevenir que os cabos rebentassem os degraus quando tensionados. Na verdade, é o peso próprio dos degraus de pedra que estabiliza a escadaria, ou seja, funcionam à compressão, todavia, tal como num arco, onde a pedra de fecho tranca a estrutura, os cabos de aço internos desempenham essa mesma função, já que os degraus se sustentam mutuamente.²⁴⁰

O desenvolvimento tecnológico, como averiguado, incita o construtivo e arquitectónico. As limitações dos materiais residem na nossa compreensão das suas propriedades, tal como as capacidades tecnológicas estagnam na ausência de inovação. Embora de carácter experimental ou ornamental, a exploração da potencialidade da pedra representa indubitavelmente um progresso inovativo no seu uso, quer nas técnicas associadas, quer na difusão das capacidades do material.

239. FALLACARA, Giuseppe. *Architectural stone elements: research, design and fabrication*. Paris: Presses des Ponts, 2016, p.85

240. STONE-IDEAS. *Escada em rocha ornamental suspensa no ar, com arco de 320 graus*. Consultado em 2-07-2018. Disponível em: <https://www.stone-ideas.com/49914/escada-em-rocha-ornamental-suspensa-no-ar-com-arco-de-320-graus/>



Fig. 276_Sede da SNBR, cuja entrada é marcada pelo HyperGate

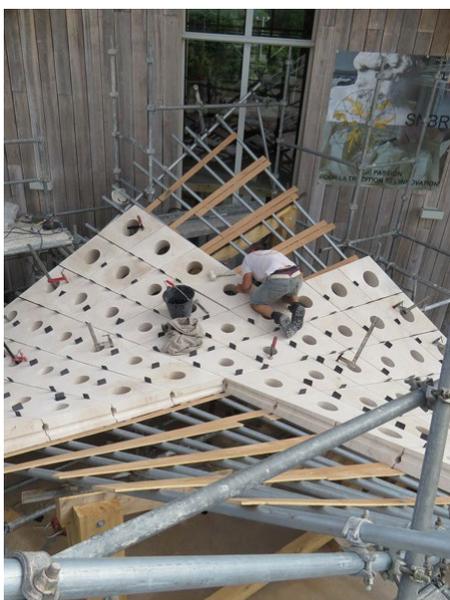


Fig. 277_(esq.) Montagem dos elementos discretos do HyperGate, para serem tensionados no final

Fig. 278_(dto.) Vista interior do mezanino dos arcos de pedra que suportam a cobertura e definem o espaço interior



Fig. 279_Vista exterior das bases de betão, contrafortes, dos arcos de pedra.

1.7_Bureaux SNBR (HyperGate)

A sede da sociedade francesa Societé Nouvelle Batimant Regional (SNBR), projectada por Giuseppe Fallacara, construída entre 2014 e 2016, em Troyes, França, é mais do que uma materialização de uma ideia em compósitos estruturais de pedra, é a experimentação, difusão e vulgarização desses mesmos compósitos para a criação de espaços arquitectónicos de escalas comuns. O primeiro elemento de destaque é a ‘sela’ que nos recebe à entrada, o HyperGate. O primeiro parabolóide hiperbólico composto de elementos discretos em pedra (calcária) reforçada com cabos de aço afirma as potencialidades da conciliação da fabricação robótica, corte por maquinaria CNC e desenho paramétrico digital para gerar uma estrutura autoportante, que cobre uma área de 22 m². Os quatro arcos de 20 metros de vão que compõem a sede são o resultado de várias experiências idênticas que culminaram na concretização um espaço habitável.²⁴¹ A estereotomia sinusoidal utiliza a superfície curva para aumentar a área de contacto (e de atrito) enquanto simula o mecanismo biológico da rótula humana, reforçando o travamento que cada pedra exerce na inferior. O arco de intradorso parabólico, a perfuração das peças e a sua associação a bases de betão constituem escolhas que tentam afirmar a capacidade da pedra como cooperante ou até substituto do betão. Ainda que os compósitos estruturais pétreos não tenham alcançado a plasticidade do betão armado, não é de todo incapaz de responder a soluções física e esteticamente interessantes, pela utilização de lógicas desenvolvidos para a ‘pedra líquida’. Com o intuito de representar a empresa, que trabalha com pedra, o conceito do projecto foi substituir o betão armado com pedra pré-esforçada de modo a reduzir a utilização de materiais artificiais na arquitectura e utilizar materiais tradicionais, aplicando tecnologias contemporâneas²⁴². A compreensão do funcionamento dos materiais e das suas técnicas é sem dúvida a chave para o seu controlo, manipulação e mutação.

241. F A L L A C A R A , Giuseppe. *Architectural stone elements: research, design and fabrication*. Paris: Presses des Ponts, 2016, p. 21

242. Ibidem



Fig. 280 Entrada da Stone House com forte presença dos muros de alvenaria tradicional local



Fig. 281 Pátio da Stone House, onde a grelha estrutural se projecta para formar uma pérgula

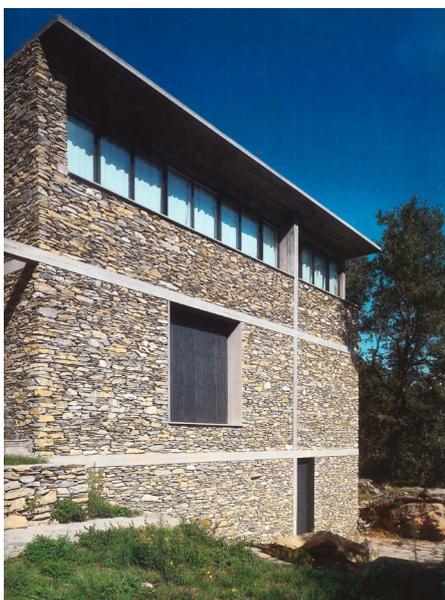


Fig. 282 (esq.) Fachada sul. O vão horizontal moderno é enfatizado pela alvenaria horizontal de pedra xistenta e a pala de betão da cobertura

Fig. 283 (dto.) Detalhe de porta

1.8_Stone House

A Stone House, projectada por Jacques Herzog e Pierre de Meuron em 1982, com construção entre 1985 e 1988, é um volume cúbico de três pisos incorporado num promontório de um oliveiral, em Tavole, Itália. É caracterizada por uma lógica de desenho tridimensional minimalista, cuja estrutura resume-se a uma grelha de betão armado com expressão na fachada, enquanto uma cruz de betão portante gera divisões internas sem corredores de circulação²⁴³. A casa assume uma expressão remanescente da construção local de pedra xistenta pousada a seco horizontalmente, ao preencher os vãos da grelha estrutural com a mesma técnica, protegendo o isolamento. Esta obra é um exemplo de elegância e simplicidade de desenho e manipulação dos materiais pela honesta conjugação de betão e pedra, cooperantes, e usados sem subterfúgios. Os detalhes austeros e brutos são congruentes com a envolvente da qual replicam a técnica sem criar anacronismos ou cópias desajustadas. A conjugação da pedra com um material moderno, o betão, enalteceu a identidade local da pedra mas também a identidade (temporal) da própria obra.

243. WANG, Wilfried.
Jacques Herzog & Pierre De Meuron. Barcelona: GG, 2000,
p. 22

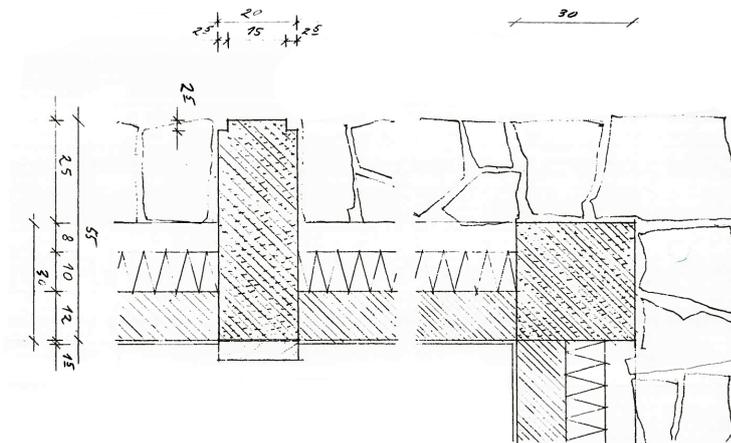


Fig. 284 Esquema de detalhe construtivo. A pedra ocupa a maioria da espessura da parede, 25 cm. A pedra protege uma 5 cm de caixa-de-ar, 10 cm de isolamento e 12 cm de parede de tijolo rebocado pelo interior



Fig. 285_Dominus Winery, atravessada pelo percurso que corta o correr das vinhas



Fig. 286_Principal vão de acesso ao átrio de distribuição ou atravessamento entre zonas da vinha



Fig. 287_(esq.) Jogos de luz e sombra interiores gerados pelo revestimento de gabião

Fig. 288_(dto.) Detalhe do revestimento da fachada de estrutura metálica e gabião de basalto

1.9_Dominus Winery

Dominus Winery, projectada por Jacques Herzog e Pierre de Meuron em 1995, com construção entre 1996 e 1998, é um volume linear de 100 metros de comprimento, 25 de largura e 9 de altura incorporada na orientação das vinhas em Yountville, Califórnia, EUA. A expressão pétreia formal de muro que a obra de estrutura metálica assume é conseguida por uma técnica de revestimento inesperada. A fachada, membrana porosa que separa o espaço interior do exterior, é uma estratégia arquitectónica de controlo de temperatura, iluminação e ventilação, apesar da típica técnica norte americana de gestão de temperatura e ventilação se resumir ao uso de ar condicionado. Dominus Winery é revestido por gabiões, caixas de rede metálica de aço, enchidas com calhaus de basalto local, com cores desde o verde-escuro a negro que harmonizam com a paisagem. A porosidade criada pelo revestimento permite a circulação do ar e controlo da temperatura e radiação do sol californiano, enquanto mancha o interior com jogos de luz imprevisíveis. O detalhe do gabião incorpora diferentes densidades o que conduz a que o revestimento esteja mais próximo de um ‘tecido pétreo’ de diferentes transparências, gerando zonas permeáveis e outras onde a luz é escassa.²⁴⁴ A inventividade de utilização de um sistema utilizado para retenção de parapeitos de terra ou pedra criou um sistema de revestimento de desempenho fascinante e cativante, quer pela sua expressividade, pela própria técnica utilizada, pela manipulação da luz ou pelo contributo para o melhor desempenho térmico do edifício. Os sistemas e soluções que a pedra oferece são tão vastos quanto a imaginação e o domínio sobre o material.

244. WANG, Wilfried.
Jacques Herzog & Pierre De Meuron. Barcelona: GG, 2000,
p. 160



Fig. 289_Centro de Estudos Avanzados (à esquerda) e Escola de Altos Estudos Musicais (à direita), evidenciando a paleta textural do mesmo material



Fig. 290_Fachada Nascente. A volumetria cúbica da obra está incrustada no terreno reforçando a sua tectónica já comunicada pela textura bruta



Fig. 291_(esq.) Detalhe da textura



Fig. 292_(dto.) Vista interior onde ocorre a mudança de textura (acabamento polido)

1.10_Escola de Altos Estudos Musicais

O Escola de Altos Estudos Musicais, EAEM, projectado por Antón García-Abril, construído entre 1998 e 2002, é um cubo em granito Mondariz instalado no Parque de Vista Alegre (Finca Simeón) do campus da Universidade de Santiago de Compostela, Espanha. A obra é o produto de um exercício ‘não-simétrico’, de volumetria, proporções e materiais definidos pelo pavilhão vizinho, o Centro de Estudos Avanzados, CEA, pelo arquitecto César Portela. Embora ambos utilizem o granito Mondariz, a expressividade e tectónica no EAEM é muito mais proeminente, usado como elemento de destaque face à superfície polida do CEA.²⁴⁵ O granito reveste a estrutura metálica do EAEM através de uma técnica de alvenaria simples, cujos elementos assumem espessuras e texturas irregulares na ordem dos 30 a 35 cm, constituindo uma parede autoportante de pedra. Os enormes silhares foram obtidos a partir de blocos com o dobro da espessura necessária, divididos por perfuração com ferramentas e técnicas tradicionais, contra o ‘correr da pedra’²⁴⁶. As pedras foram assentes sem argamassa e travadas com grampos tal como os egípcios, gregos e romanos faziam.²⁴⁷ As superfícies irregulares, brutas e lascadas resultantes do processo tradicional foram usadas para materializar a textura da Escola de Altos Estudos Musicais numa reconhecimento da plasticidade ilimitada que a pedra possui, ganhando especial contraste pelas superfícies de granito polido que se encontram no interior da obra e no pavilhão vizinho. A violência da extracção e transformação da rocha é eloquentemente exposta, dando ao edifício uma aparência ‘primitiva’, sólida e tectónica. O exercício de García-Abril demonstra a poética da rudeza da imperfeição da pedra e como a valência estética dos elementos pétreos está presente na sua simplicidade e textura ‘primitiva’. A técnica de assentamento para o revestimento desta obra reforça toda a expressividade que a pedra oferece.

245. PAVAN, Vincenzo. *Nuova Estetica delle Superficie*. Verona: Faenza Editrice, 2005, Bilingue, p. 115

246. Orientação dos minerais

247. PAVAN, Vincenzo. *Nuova Estetica delle Superficie*. Verona: Faenza Editrice, 2005, Bilingue, p. 118

Pedra: Matéria, Método e Materialização



Considerações Finais

A rocha é um produto natural de propriedades fascinantes cuja abundância no território ditou a sua presença, desde cedo, no espectro construtivo humano. É impossível descobrir quais foram as expectativas dos primeiros construtores quando as primeiras pedras foram extraídas e organizadas com um intuito de materializar uma intenção. A complexidade deste aparentemente simples e primitivo material é apenas igualável ao mundo extenso dos minerais que o compõem. Independentemente da classificação, comercial ou petrológica, é indubitável que a mais perigosa e fascinante classificação é a de ‘pedra’, pois o termo será tão limitado quanto a compreensão do peso que tal vocábulo realmente carrega e representa. Rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, todas elas providenciam incríveis exemplares, únicos e particulares ao seu tipo, e por vezes, inigualáveis em todo o mundo. ‘Pedra’ é mais do que um simples material de construção, é travertino, é mármore, é granito, é brecha, é ónix, é calcário, é quartzito, é ardósia, é basalto, etc. É um termo chavão que captura uma infinidade de possibilidades, quer mecânicas, estéticas, texturais, cromáticas e de desempenho que aguardam por serem descobertas.

A compreensão das possibilidades da pedra levou ao desenvolvimento de uma primitiva ciência dos materiais, onde as suas virtudes e limitações foram sendo exploradas, registadas e transmitidas, até construir as bases dos requisitos que governam os materiais construtivos. Só com a contínua exploração, através de uma construção exaustiva, metodologia que aperfeiçoou as técnicas romanas, é que o vácuo dos requisitos estruturais para a pedra pode ser preenchido e assim estimular o seu reaparecimento nessa gama de produtos oferecidos pelo mercado comum. Só a prática pode produzir proficiência.

A actividade construtiva, a materialização de uma intenção pelo arranjo de elementos, é um exercício de estudo das soluções actuais, uma contribuição para o campo da experimentação, pois similar ao processo evolutivo das espécies, por mutação e desvio da referência e da cópia perfeita, constitui em si uma nova referência, influenciando soluções futuras. Erros e anomalias estão implícitas no processo de mutação e evolução, todavia, como referido, não devem constituir um obstáculo ao processo de inovação e progresso. A pedra, ou qualquer material, está limitado pelo domínio do arquitecto sobre a temática, portanto, é de absoluta importância que, tanto como na fase de projecto

como na de construção, ocorra o conselho de um especialista de forma a evitar comportamentos e desempenhos adversos, inesperados ou até mesmo perigosos. A pedra, apesar da sua nobreza e perenidade, é um material natural e igualmente sujeito às regras de transformação e degradação da natureza, ainda que, geralmente, sobre intervalos muitos mais longos. A pedra também falha, mas tais erros poderão ser evitados, ou então, deverão servir como referência de estudo para situações futuras, já que todas as falhas acarretam aumentos de custos, complicações de manutenção e desintegrações do conceito original da construção desejáveis de evitar por todos. Arquitecto ou construtor, não lhes é necessário possuírem um profundo conhecimento sobre todos os ramos do saber que influencia as dinâmicas dos materiais que utilizam, porém sem compreender os fundamentos, pouco poderá ser extraído das potencialidades do mesmo. As potencialidades dos materiais pétreos parecem ilimitados, capazes de acompanhar e corresponder as evoluções sociais e tecnológicas.

A história da manipulação deste material está marcada por ciclos de desenvolvimento intelectual e períodos de exaustiva concretização, que permitiram impulsionar o uso e capacidades da pedra para novos horizontes. Ergueram-se objectos arquitectónicos, materializaram-se ideias a escalas e expressões nunca dantes imaginadas. Quer sejam os pesados lintéis egípcios, petrificações da construção degradável, os arcos, abóbadas e cúpulas, iterados exaustivamente pelos romanos, a alvenaria gótica, uma esbelta e inteligente manipulação do material e da condução das cargas (ainda que empiricamente), a estereotomia iluminista, cujo apogeu das estruturas cortavam o ar, flutuando, livre das leis e axiomas científicos desenvolvidas na época quando na verdade eram possibilitados por elas, as arquitecturas modernas de pedra, afirmações de uma identidade local e de um compromisso de adaptação social e intelectual, ou os compósitos estruturais contemporâneos, cujas potencialidades são constringidas unicamente pelo engenho inventivo, são exemplos paradigmáticos da sucessiva expansão das capacidades da pedra, material múltiplo de uma espantosa adaptabilidade e evolução.

Enquanto é fácil conjecturar cenários futuristas sobre diversas possibilidades da realidade construtiva, social e arquitectónica, é praticamente impossível determinar concretamente o futuro da pedra, ou de qualquer outro material. Ao longo desta dissertação foram expostas as diversas formas que o material assume, constrói e materializa, constantemente reinventado, e portanto, poder garantir que a sua linha

evolutiva cessará ou estagnar-se-á, brevemente ou eventualmente, seria falacioso, especialmente considerando todos os desenvolvimentos e experimentações produzidos no âmbito da exaltação da pedra no panorama construtivo actual. A sua potencialidade como utensílio urbanístico, instrumento de inovação, elemento de exploração e entidade expressiva assegura-lhe uma presença contínua no espectro arquitectónico. Apesar da predominância do betão (armado) e o aço como elementos construtivos, estéticos e arquitectónicos, é inegável que a pedra possui as mesmas valências. Na verdade, foi a demanda acelerada a um mercado impreparado que conduziu à substituição da pedra pela ‘pedra líquida’. Esta dissertação não advoga a imediata imposição da utilização da pedra no mundo construtivo, pretende apenas colocar um holofote sobre um material tão rico, extenso e apto, como as áreas do saber que o estudam, analisam e categorizam. A pedra consegue responder a diversos desafios construtivos, e porventura estimular uma nova tipologia construtiva como é demonstrado pela sua história. Só se pretende recordar e demonstrar que a pedra é mais do que um simples revestimento ornamental e que tal só representa um pequeno espectro da sua identidade.

A grande relevância da pedra reside no seu papel em materializar e definir a arquitectura ocidental e, conseqüentemente, desenvolver identidades sociais e tecnológicas locais que a construção comunica. Trabalhar com pedra é uma enorme responsabilidade pela inerente intervenção que se faz no espaço envolvente. A materialidade pétreia carrega história, técnicas, preocupações, fenómenos geológicos, químicos, físicos e mecânicos, limitações e problemas, e será tão reactiva como um organismo vivo quando incompatível com o seu meio ambiente.

Para concluir, o peso da pedra é mais do que uma mera propriedade física, é uma consequência psicológica das suas valências históricas, técnicas e estéticas, tal como a responsabilidade latente ao seu uso. A escolha deve ser ponderada. As propriedades de cada um dos tipos de pedra devem ser analisadas e utilizadas como ferramentas de filtro, sempre acompanhado pelo especialista, pela referência, pela comparação, pelo estudo e pelo modelo real. A escolha do material pétreo deve ser contida, fundamentada e remanescente da lógica da crítica ao Movimento Moderno. Deve ser encontrada, e reforçada, a identidade do local a fim de evitar as intervenções de carácter anacrónico ou alóctone. É necessário compreender que a pedra não é

estática, mas sim um sistema dinâmico, reactivo, que depende de uma análise das suas propriedades e composição a fim de assegurar uma compatibilidade que deve ser mais do que arquitectónica e urbanística, mas também física, química e mecânica.

Apesar de num mundo capitalista o orçamento ser uma das principais limitações à inovação e desenvolvimento, a mestria está no engenho subtil, no detalhe invisível e silencioso que estimula uma nova realidade construtiva. Não se procura promover o uso de complexos ou dispendiosos materiais pétreos, mas sim a difusão das lógicas da sua correcta utilização e porventura promover o interesse por um material tão complexo e interessante quanto vetusto e simbólico. É essencial iterar que a pedra é “um material de construção que é antigo, mas não é velho”²⁴⁸.

248. “(...) un materiale di costruzione che è antico, ma non è vecchio.” in CAVALLARI, Luigi. *Pietra*. In GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006, p. 7

- BRANCO, José da Paz. *Manual do Pedreiro*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981
- AIRAPETOV, D. *Architectural materials science*, Tradução de Alexander B. Kuznetsov. Moscow: MIR Publishers, 1986
- PINTO, Alberto Cruz Reares et al.. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1º Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006
- LATORRE, T. e RISOLA, N. (eds.). *Involucri lapidei: L'uso della pietra per l'abitare contemporaneo*. Foggia: Claudio Granzi Editore, 2009
- GIRASANTE, F. e POTENZA, D. (eds.). *Dalla pietra all'architettura*. Foggia: Claudio Grenzi Editore, 2006.
- ALBERTI, Leon Battista. *L'Architettura [De Re Aedificatoria]*. Milano: Edizioni Il Polifilo, 1966
- ALBERTI, Leon Battista. *Da Arte Edificatória*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011
- BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001
- AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In: GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 463-517
- MOURA, A. Casal. *Granitos e Rochas Similares de Portugal*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro, 2000
- LOUGHRAN, Patrick. *Failed Stone: problems and solutions with concrete and masonry*. Basel: Birkhauser, 2007
- DEPLAZES, Andrea, *Constructing architecture: materials processes structures: a handbook*, 2ª ed. reimpressão corrigida da edição alargada de 2008, Basel: Birkhäuser, 2010
- HERZOG, Thomas. *Facade construction manual*. Basel Birkhauser, 20047
- ADDIS, Bill. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon, 2007
- SCHMITT, Heinrich. *Tratado de construcción: elementos, estructuras y reglas fundamentales de a construcción*. 6ªed. aumentada, Barcelona: Gustavo Gili, 1978
- SEGURADO, João Emílio dos Santos. *Alvenaria e Cantaria*. 5ª Edição, Lisboa: Bertrand, 1945
- WILDUNG, Dietrich. *O Egipto: da pré-história aos romanos*. Köln: Taschen, 2001

- STIERLIN, Henri. *O Império Romano: dos Etruscos ao declínio do Império Romano*. Köln: Taschen, 1997.
- COLE, Emily. *A gramática da arquitectura*. 1ª Edição, [S.L.]: Livros e Livros, 2003
- MOFFETT, Marian; FAZIO, Michael e WODEHOUSE, Lawrence. *A world history of architecture*. London: Laurence King, 2003
- STIERLIN, Henri. *Os Maias: palácios e pirâmides da floresta virgem*. Köln: Taschen, 1998
- STIERLIN, Henri. *A Índia Hindu: templos e santuários de Khajuraho a Madurai*. Köln: Taschen, 1999
- FALLACARA, Giuseppe e STIGLIANO, Marco. *Stereotomy: modern stone architecture and its historical legacy*. [S.L.: s.n.], 2012. Disponível em: <http://www.ateliers-romeo.com/stereotomy-modern-stone/>
- FERNANDEZ, Sérgio. *Percurso: arquitectura portuguesa: 1930-1974*. 2ª edição, Porto: Faup Publicações, 1988
- COOKE, C. e SHARP, D. (eds.). *The modern movement in architecture: selections from the DOCOMOMO registers*. Rotterdam: 010 Publishers, 2000
- TOSTÕES, Ana. *Os verdes anos na arquitectura portuguesa dos anos 50*. 2ª edição, Porto: Faup Publicações, 1997
- WANG, Wilfried. *Jacques Herzog & Pierre De Meuron*. Barcelona: GG, 2000
- MOLA, Francesc (ed). *Eduardo Souto de Moura, Architect*. Barcelona: Loft, 2009
- FERNANDES, Fátima. *Eduardo Souto de Moura, a arquitectura do Metro: obras e projectos na Área Metropolitana do Porto*. Porto: Civilização, 2006
- PAVAN, Vincenzo. *Nuova Estetica delle Superficie*. Verona: Faenza Editrice, 2005, Bilingue
- FALLACARA, Giuseppe. *Architectural stone elements: research, design and fabrication*. Paris: Presses des Ponts, 2016
- ARCHITECTURAL ASSOCIATION LONDON. *Dimitris Pikionis, Architect 1887-1968: a sentimental topography*. London: Architectural Association, 1989
- NEVES, António Luís Pereira da Silva. *Arménio Losa e Cassiano Barbosa, arquitectura no segundo pós-guerra: arquitectura moderna, nacionalismo e nacionalização*. Dissertação de Doutoramento, Porto: Faup, 2015

Periódico

Eduardo Souto de Moura: 2009-2014. N.º 179. Madrid: El croquis ed., 2015

<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/rocha>
[https://www.infopedia.pt/\\$planeta-telurico](https://www.infopedia.pt/$planeta-telurico)
http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/geography/natural_hazards/tectonic_plates_rev1.shtml
https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:6227&cs=170D4BD6399C2C C53134C177FA4705416
<https://stone-pt.com/pt/>
www.ipt.pt/
<http://www.assimagra.pt/project/barometro-do-marmore/>
<http://www.assimagra.pt/a-assimagra/>
<http://www.assimagra.pt/barometro/>
<http://www.assimagra.pt/project/stonept/>
<http://www.marmomac.com/en/international-trade-fair/>
http://www.tonsdepedra.com/pedra_natural_acab_detail.php?aID=30
<http://www.stonesense.pt/pt/catalog/finishings>
<https://www.silestone.com/pt/o-que-e-silestone/>
<https://www.silestone.com/pt/bancadas-de-granito-vs-quartzo/>
<https://blog.sagradafamilia.org/en/divulgation/where-do-the-stones-being-used-to-build-the-sagrada-familia-come-from/>
<http://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2017/jul/03/material-marvels-basilica-de-la-sagrada-familia>
<https://www.arup.com/projects/sagrada-familia>
<http://chambersarchitects.com/blog/mies-van-de-rohe-1929-barcelona-pavilion/>
https://it.wikipedia.org/wiki/Santuario_di_San_Pio_da_Pietrelcina
<http://www.farinacostruzioni.it/en/progetti-realizzati/progetto.asp?codice=6>
<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/litosfera>
[https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$deflacao-\(geologia\)](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$deflacao-(geologia))
<http://miesbcn.com/project/mies-missing-materiality/>
<https://www.som.com/about>
https://www.som.com/projects/yale_university__beinecke_rare_book_and_manuscript_library

<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/cimbre>

https://it.wikipedia.org/wiki/Romanico_florentino

https://it.wikipedia.org/wiki/Pietra_alberese

<https://archleague.org/article/the-stereotomy-of-complex-surfaces-in-french-baroque-architecture/>

<http://www.armadillovault.com/>

<http://www.armadillovault.com/armadillo/>

<https://www.stone-ideas.com/49914/escada-em-rocha-ornamental-suspensa-no-ar-com-arco-de-320-graus/>

Bibliografia Recomendada

CASELLA, Gabriela. *Gramáticas de pedra: levantamento de tipologias de construção murária*. Porto: Centro Regional de Artes Tradicionais, 2003

MANZINI, Ezio. *La materia dell'invenzione: materiali e progetto*. Milano: Arcadia, 1986

PARICIO, Ignacio. *Pátina o suciedad*. Barcelona: Bisagra Ediciones, 2002

Fig. 1 Fotografia do autor

Fig. 2 Fotografia do autor

Separador Introdução (Fotografia por Edward Burtynsky) <https://www.edwardburtynsky.com/projects/photographs/quarries/>

Fig. 3 http://www.turgranada.es/wp-content/blogs.dir/2/files_mf/cache/th_9884a105155d2d5abab95f407ee25a91_U4T5744-Cuevas-de-Panoria.-Darro.Granada..jpg?x53512

Fig. 4 <https://redhistoria.com/wp-content/uploads/2017/08/puntas-de-flecha-del-neolitico.jpg>

Fig. 5 http://curiousireland.ie/wp-content/uploads/2013/10/IMG_9346-800x600.jpg

Fig. 6 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3d/Castro_de_Baro%C3%B1a_y_playa_de_Arealonga-Complejo_H%C3%BAmido_de_Corubedo-Coru%C3%B1a-Spain.jpg/1280px-Castro_de_Baro%C3%B1a_y_playa_de_Arealonga-Complejo_H%C3%BAmido_de_Corubedo-Coru%C3%B1a-Spain.jpg

Fig. 7 <http://freespeechblog.org/wp-content/uploads/2016/06/code-of-hammurabi-featured-704x454.jpg>

Fig. 8 <https://www.nationalgeographic.com/content/dam/travel/2016-digital/jordan/world-heritage/petra-world-heritage-jordan.adapt.676.1.jpg>

Fig. 9 http://www.manofstone.co.uk/wp-content/gallery/gallery/IMG_1431.jpg

Separador Matéria http://www.sagevanmarmi.com/wp-content/uploads/2015/07/cava_calocara-18-1.jpg

Fig. 10 Esquema pelo autor

Fig. 11 <http://www.scienze-naturali.com/wp-content/uploads/2018/07/lava-703x527.jpg>

Fig. 12 <https://i0.wp.com/carpetstudio.ca/wp-content/uploads/2016/01/white-marble-2048.jpg?ssl=1>

Fig. 13 https://marmoluz.s3.amazonaws.com/uploads/image/regular_Granito_Cinza_Corumb_.jpg

Fig. 14 Esquema pelo autor

Fig. 15 (Fotografia por Giovanni dall'Orto) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/9142_-_Milano_-_Museo_storia_naturale_-_Feldspato_potassico_-_Foto_Giovanni_Dall'Orto_22-Apr-2007.jpg

Fig. 16 https://www.esci.umn.edu/courses/1001/minerals/images/potassium_feldspar.jpg

Fig. 17 BARROS, Luís Aires. As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, p. 33 (ver Fig. 2)

Fig. 18 (Fotografia por Stuart Humphreys) https://australianmuseum.net.au/uploads/images/33823/quartz,-madagascar-web_big.jpg

Fig. 19 (Fotografia por Liyamu) https://c2.staticflickr.com/4/3284/2509387161_ed1d6883fc_b.jpg

Fig. 20 Esquema pelo autor

Fig. 21 Esquema pelo autor (gabro - https://4.bp.blogspot.com/-PFbSeZ6WoTk/VQlXpFye_6I/AAAAAAAAAQc/adNJUreG5w/s1600/Gabbro3_hero_mod.jpg | basalto - https://2.bp.blogspot.com/-EUracRinSnw/W1DbfUfCQMI/AAAAAAAAEb4/KkFvehMODUAP9cplSapl-Zwzo4YWdkfACLcB/s1600/00304%2BIMG_6190%2B8%2Bcm%2Bbasalt%2BGiant%2527s%2BCauseway.jpg | obsidiana - <https://www.mysticwish.co.uk/wp-content/uploads/2016/01/black-obsidian-natural-form-crystal.jpg>)

Fig. 22 Esquema pelo autor. Consultado: PINTO, Alberto Cruz Reares et al.. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 19 (ver Figura 2.6)

Fig. 23 Esquema pelo autor

Fig. 24 PINTO, Alberto Cruz Reares et al.. *Manual da pedra natural para a arquitectura*. 1ª Edição, Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, 2006, p. 27 (ver Figura 2.26)

Fig. 25 https://i1.wp.com/www.vortexmag.net/wp-content/uploads/2016/01/1765707831_9e5951be17_b-e1451703724521.jpg?resize=640%2C480

Fig. 26 Esquema pelo autor

Fig. 27 <http://www.marmorariabh.net/marmorarias-blog/wp-content/uploads/2015/05/Ard%C3%B3sia.jpg>

Fig. 28 Branco com veios castanhos - <http://www.primeirapedra.com/wp-content/uploads/2016/07/Branco-Veios-Castanhos.jpg> | Pele de Tigre - <http://www.primeirapedra.com/wp-content/uploads/2016/07/Pele-Tigre.jpg> | Rosa com veios verdes - <http://www.primeirapedra.com/wp-content/uploads/2016/07/Rosa-Veios-Verdes.jpg> | Verde Serpa - http://www.primeirapedra.com/wp-content/uploads/2018/06/VERDE_SERPA.jpg

Fig. 29 Fotografia pelo autor

Fig. 30 https://www.foro-minerales.com/forum/files/img_2849_copia_797.jpg

- Fig. 31** MOURA, A. Casal. *Granitos e Rochas Similares de Portugal*. Porto: Instituto Geológico e Mineiro, 2000, pp. 116, 134, 138, 150, 151, 156, 161 e 164
- Fig. 32** <http://4.bp.blogspot.com/-psNJGG5tCnk/VLkzOmpD-UI/AAAAAAAAAW4/doqj3r0uKV0/s1600/Templo%2Bde%2BDiana.jpg>
- Fig. 33** https://thumbs.web.sapo.io/?pic=http://mb.web.sapo.io/e712f1698c6b080d9_b670cf297e16f34985930a7.jpg&W=2100&H=1399&delay_optim=1&tv=2
- Fig. 34** <https://www.dinheirovivo.pt/wp-content/uploads/2017/01/porto-se-cathedral-view.jpg>
- Fig. 35** (Fotografia por Alberto Couto) http://1.bp.blogspot.com/-AZD1WmJJI/U8q2VH_1c2I/AAAAAAAAOzE/aTzYYdYKBkY/s1600/Igreja+do+Pal%25C3%25A1cio+de+Mafra-c%25C3%25BApula-pormenor.JPG
- Fig. 36** https://3.bp.blogspot.com/-a39cpVKf65M/VrzXNXo8SWI/AAAAAAAAAK18/i3Sts0e4yco/s1600/IMG_1369.jpg
- Fig. 37** <https://mapio.net/images-p/329120.jpg>
- Fig. 38** (Fotografia por Helena Madrugo) <https://cdn.olhares.pt/client/files/foto/big/775/7752411.jpg>
- Fig. 39** (Fotografia por Fernando Veludo) https://imagens.publicocdn.com/imagens.aspx/107_7774?tp=UH&db=IMAGENS&type=JPG&w=1980
- Fig. 40** (Fotografia por Fernando Veludo) https://imagens.publicocdn.com/imagens.aspx/107_7775?tp=UH&db=IMAGENS&type=JPG&w=1980
- Fig. 41** http://pin.amp.pt/static/fotos/132_132_AD037383.jpg
- Fig. 42** <http://www.crosslinebiz.com/wp-content/uploads/2017/03/banner-8.jpg>
- Fig. 43** http://www.sagevanmarmi.com/wp-content/uploads/2015/07/cava_calocara-16-1.jpg
- Fig. 44** http://www.sagevanmarmi.com/wp-content/uploads/2015/07/cava_calocara-13-1.jpg
- Fig. 45** <https://www.sandberg.co.uk/images/slideshows/stone-tests/st1.jpg>
- Fig. 46** <https://www.sandberg.co.uk/images/slideshows/stone-tests/st5.jpg>
- Fig. 47** <https://www.sandberg.co.uk/images/slideshows/stone-tests/st8.jpg>
- Fig. 48** BARROS, Luís Aires. *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias volume I*. Lisboa: MC – Ministério da Cultura / IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, 2001, pp. 213-215
- Fig. 49** http://www.controls-group.com/backend/prodotti/img_upload/img_big/141_1271705110_abrasion_machine_tester_web.jpg
- Fig. 50** http://www.controls-group.com/backend/prodotti/img_upload/img_big/141_1201635130_48_d5272_73_74_rev1_11.11.2014_11_web.jpg
- Fig. 51** <http://triplehconcreteproducts.ca/wp-content/uploads/2011/04/DSCF0350.jpg>
- Fig. 52** <https://www.sandberg.co.uk/images/slideshows/stone-tests/st4.jpg>
- Fig. 53** <https://www.sandberg.co.uk/images/slideshows/stone-tests/st9.jpg>
- Fig. 54** <http://stone-pt.com/wp-content/uploads/2016/07/guitarra-2-724x1024.jpeg>
- Fig. 55** <http://stone-pt.com/pt/stonept-2/>
- Fig. 56** <http://www.marmomac.com/en/pressarea/download-logos/>
- Fig. 57** <http://www.marmomac.com/wp-content/uploads/2014/03/Marmomac-2017-panoramiche-dal-tetto-3-e1516707807113.jpg>
- Fig. 58** <http://www.marmomac.com/wp-content/uploads/2014/03/The-Italian-Stone-Theatre-2017-Panoramiche-9.jpg>
- Fig. 59** <https://static.globalnoticias.pt/dn/image.aspx?brand=DN&type=generate&name=big&id=8791478&source=&t=20170923002600>
- Fig. 60** http://www.buildingconservation.com/articles/masonry-cleaning/pic_1.jpg
- Fig. 61** http://www.buildingconservation.com/articles/masonry-cleaning/pic_4.jpg
- Fig. 62** <https://keyassets.timeincuk.net/inspirewp/live/wp-content/uploads/sites/8/2018/04/stoneme-630x400.jpg>
- Fig. 63** <https://www.cerrig-granite.co.uk/wp-content/uploads/2015/03/Home-Commercial-hdr.jpg>
- Fig. 64** https://images.robertharding.com/preview/RM/RH/HORIZONTAL/832-1_43520.jpg
- Fig. 65** https://www.nationalparks.org/sites/default/files/styles/wide_1x/public/shutterstock_97706066_1.jpg?itok=NbwtZJcr×tamp=1472226962
- Fig. 66** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a7/Limestone_alveolization_-_Viviers.jpg/1280px-Limestone_alveolization_-_Viviers.jpg
- Fig. 67** Fotografia pelo autor
- Fig. 68** https://cimentomaua.com.br/wp-content/uploads/2018/01/img1_2013-10-08_13-48-17.jpg
- Fig. 69** Fotografia pelo autor
- Fig. 70** Fotografia pelo autor
- Fig. 71** Fotografia pelo autor
- Fig. 72** Fotografia pelo autor
- Fig. 73** Esquema pelo autor

- Fig. 74** (Fotografia por Eric Allix Rogers) <https://s3.amazonaws.com/architecture-org/files/modules/1--aon-center-eric-allix-rogers-web-06-01-03.jpg>
- Fig. 75** https://imageserver-bisnow1.netdna-ssl.com/x5SCXt60nEGwYmRlGfHxXhjkXWhg=/0x0/publisher/57f27a08f2b77_2016_10_3_aoncenter4.jpeg
- Fig. 76** https://www.wje.com/assets/images/projects/large/Amoco_Building-06.jpg
- Fig. 77** Esquema pelo autor
- Fig. 78** <http://www.ollmetzer.com/wp-content/uploads/2013/08/P1020241.jpg>
- Fig. 79** https://static1.squarespace.com/static/56893b00df40f3987c7cb7c9d/5a2cb5e7e2c483bdd9dea59c/5a2cb68fec212d8655c78f84/1512879762561/IMG_1095.jpg?format=750w
- Fig. 80** <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0950061899000367-gr1.jpg>
- Fig. 81** Esquema pelo autor
- Fig. 82** Finlândia Hall - (Fotografia por Dan Hill) <https://www.flickr.com/photos/cityofsound/4673850197/in/set-72157624086186807/> | David - <http://www.accademia.org/wp-content/uploads/2014/01/david-face-760x985.jpg>
- Fig. 83** <http://www.mackloweproperties.com/images/openingThumbs/GMBuilding.jpg>
- Fig. 84** <http://www.nyc-architecture.com/MID/MID058-03.jpg>
- Fig. 85** Fotografia pelo autor
- Fig. 86** <https://dsai.ca/wp-content/uploads/FM1.jpg>
- Fig. 87** <https://dsai.ca/wp-content/uploads/FM5.jpg>
- Fig. 88** Fotografia pelo autor
- Fig. 89** Fotografia pelo autor
- Fig. 90** <http://www.zoolex.org/zoolexstat/pictdir/711/20.jpg>
- Fig. 91** Esquema pelo autor
- Fig. 92** <http://stoneartistryrestorations.com/efflorescence/page04/01.jpg>
- Fig. 93** Fotografia pelo autor
- Fig. 94** Fotografia pelo autor
- Fig. 95** http://yeshotel.sr1.delphinet.it/files/2013/03/Auditorium_Parco_della_Musica_cavea_Rome.jpg
- Fig. 96** <https://www.rome-accommodation.net/assets/Uploads/monuments/monument/Auditorium.JPG>
- Fig. 97** <http://www.archidiap.com/beta/assets/uploads/2015/05/Dettaglio-della-Cavea-1024x733.png>
- Fig. 98** (Fotografia por Jodie O'hara) https://maddyisapunk.files.wordpress.com/2017/02/img_1009-1.jpg
- Fig. 99** Frame do documentário: MARLIER, Thomas (Autoria) e THIRIAT, Laurence (Realização). *Venice: The Technological Challenge Through the Ages* [Documentário]. France: CPB – Compagnie des Phares et Balises, 2018, 52 min., Tradução e Legendagem por SANTOS, Miguel.
- Fig. 100** Frame do documentário: MARLIER, Thomas (Autoria) e THIRIAT, Laurence (Realização). *Venice: The Technological Challenge Through the Ages* [Documentário]. France: CPB – Compagnie des Phares et Balises, 2018, 52 min., Tradução e Legendagem por SANTOS, Miguel.
- Fig. 101** Calcário - <http://www.primeirapedra.com/wp-content/uploads/2016/12/ENCARNADO-PEDRA-FURADA.jpg> | Granito - <http://www.primeirapedra.com/wp-content/uploads/2016/07/Rosa-Monforte.jpg> | Ónix - https://marmoluz.s3.amazonaws.com/uploads/image/regular_oArcoIris.jpg | Travertino - <https://www.artedomus.com/images/1129.jpg>
- Fig. 102** (Fotografia por Luís Ferreira Alvez) <http://0608.habitarportugal.org/hp2009/uploads/imgs/1243594741J8oGL5xb4Rn57WJ3.jpg>
- Fig. 103** Fotografia pelo autor
- Fig. 104** <http://miesbcn.com/wp-content/uploads/2014/07/inside-012.jpg>
- Fig. 105** <http://miesbcn.com/wp-content/uploads/2014/07/545-1C2.jpg>
- Fig. 106** (Fotografia por Anna Mas) <https://cdnassets.hw.net/54/0e/56ab1e6c461c976b15c5e8eed6bd/2017-11-20-barcelona-pavilion-white-materiality-photos-by-anna-mas-4.jpg>
- Fig. 107** Fotografia pelo autor
- Fig. 108** Fotografia pelo autor
- Fig. 109** https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/section_08/48f34caee678e5f862723ef602d2675f.jpg
- Fig. 110** Fotografia pelo autor
- Fig. 111** https://vignette.wikia.nocookie.net/olympians/images/9/99/Washington_Monument.jpg/revision/latest?cb=20150709231356
- Fig. 112** Fotografia pelo autor
- Fig. 113** https://images.adsttc.com/media/images/5600/5842/e58e/ceff/5f00/00bf/slideshow/Kornmarktstra%C3%9Fe_3_Kunsthau__1.jpg?1442863163
- Fig. 114** http://www.kunsthau-bregenz.at/fileadmin/user_upload/KUB-Eingang.jpg

- Fig. 115** (Fotografia por Taricha Rivularis) https://en.wikipedia.org/wiki/Cit%C3%A2nia_de_Briteiros#/media/File:Cit%C3%A2nia_de_Briteiros_houses_and_paving.jpg
- Fig. 116** https://www.sloweurope.com/photo-jb/portugal/citania-de-briteiros/images/IMG_0834.jpg
- Fig. 117** <https://i0.wp.com/mundointrigante.com/wp-content/uploads/2017/09/stonehenge.jpg?w=740&ssl=1>
- Fig. 118** https://cdn.pixabay.com/photo/2018/08/07/09/09/menhir-of-champ-dolent-3589378_960_720.jpg
- Fig. 119** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/Pyramidion_of_the_Pyramid_of_Amenemhet_III_at_Dahshur.jpg
- Fig. 120** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7a/Omphalos_museum.jpg/640px-Omphalos_museum.jpg
- Fig. 121** (Fotografia por Al-Fassam) <https://en.wikipedia.org/wiki/Kaaba#/media/File:Kabaa.jpg>
- Fig. 122** <https://www.flickr.com/photos/nicnac/473917925>
- Fig. 123** <https://cdn.civitatis.com/grecia/atenas/galeria/micenas-puerta-leones.jpg>
- Fig. 124** <https://s3.amazonaws.com/libapps/accounts/42055/images/modelhouse.jpg>
- Fig. 125** (Fotografia por Lansbricae) <https://www.flickr.com/photos/lansbricae/4457519497/in/photostream/>
- Fig. 126** <https://www.360meridianos.com/wp-content/uploads/2018/02/piramides-do-egito-templo-do-vale.jpg>
- Fig. 127** <https://avatars.mds.yandex.net/get-pdb/812271/43468ab0-fcd9-49c7-a909-71aed2f5f124/s1200>
- Fig. 128** https://overlandingafrica.files.wordpress.com/2010/01/img_1346.jpg
- Fig. 129** (Fotografia por Nadine Lee) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9c/Great_Hypostyle_Hall%2C_Karnak_Temple.jpg/682px-Great_Hypostyle_Hall%2C_Karnak_Temple.jpg
- Fig. 130** <https://whereintheworldarebillandcindy.files.wordpress.com/2013/05/image29.jpg>
- Fig. 131** <http://www.kathmanduandbeyond.com/wp-content/uploads/2017/04/The-Parthenon-Acropolis-Athens-Greece-1-2.jpg>
- Fig. 132** <https://i0.wp.com/deadideas.net/wp-content/uploads/2017/06/ziggurat-of-ur.jpg?fit=1024%2C683&ssl=1>
- Fig. 133** http://www.pontdugard.fr/sites/default/files/1_0.jpg
- Fig. 134** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/Roman_sewer_Cologne.jpg/682px-Roman_sewer_Cologne.jpg
- Fig. 135** https://www.detail-online.com/fileadmin/_migrated/pics/museum_caracalla_thermen_1_01.jpg
- Fig. 136** <http://3.bp.blogspot.com/-GM2o0kpypxg/VRsdHALgz2I/AAAAAAAAAq4/TgnQsab7gbc/s1600/hormigon.jpg>
- Fig. 137** <https://i.pinimg.com/originals/cd/59/b5/cd59b50b7701b3e2a0fd69900f8d531e.jpg>
- Fig. 138** Esquema pelo autor
- Fig. 139** https://cdn.pixabay.com/photo/2015/09/01/20/22/coliseum-917554_960_720.jpg
- Fig. 140** https://res.cloudinary.com/dk-find-out/image/upload/q_80,w_1920,f_auto/187527_Colosseum_RT_ke2eim.jpg
- Fig. 141** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/Pantheon_%28Rome%29.jpg/896px-Pantheon_%28Rome%29.jpg
- Fig. 142** <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Pantheon.drawing.jpg/1256px-Pantheon.drawing.jpg>
- Fig. 143** (Fotografia por Leandro Neumann Ciuffo) <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Kamara.jpg/1280px-Kamara.jpg>
- Separador Método** <http://www.sagevanmarmi.com/wp-content/uploads/2015/07/carroponte-magazzino-lastre-sagevan-carrara-1.jpg>
- Fig. 144** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/df/Ratha_mahabalipuram.JPG/1280px-Ratha_mahabalipuram.JPG
- Fig. 145** (Fotografia por Francesco Bandarin) https://whc.unesco.org/include/tool_image.cfm?id=109390&gallery=site&id_site=244
- Fig. 146** (Fotografia por Chetan Kulkarni) <https://www.bcmtouring.com/forums/attachments/35-kailashtop-jpg.635020/>
- Fig. 147** (Fotografia por Ji-Elle) <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7c/LessayAbbaye3.JPG/1280px-LessayAbbaye3.JPG>
- Fig. 148** (Fotografia por Georges Jansoone) <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Firenze.Baptistry06.JPG>
- Fig. 149** (Fotografia por Vassil) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f9/V%C3%A9zelay_Nef_Chapiteau_220608_O6.jpg/1024px-V%C3%A9zelay_Nef_Chapiteau_220608_O6.jpg
- Fig. 150** <https://www.noticiasdecoimbra.pt/wp-content/uploads/2016/02/se-velha.jpg>
- Fig. 151** <http://www.escapehunter.com/escapes/turkey/img-hagia-sophia-013-istanbul-010611.jpg>
- Fig. 152** <https://pixabay.com/pt/catedral-contrafortes-arcobotantes-541079/>
- Fig. 153** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f7/Coeur_de_la_Basilique_de_Saint-Senis.jpg/640px-Coeur_de_la_Basilique_de_Saint-Senis.jpg?1537541894916
- Fig. 154** <https://enthusiastical.files.wordpress.com/2013/05/dsc01667.jpg>
- Fig. 155** <https://cdn.thinglink.me/api/image/912791620523393026/1240/10/scaletowidth>
- Fig. 156** <https://www.flickr.com/photos/42437110@N00/1426088332>
- Fig. 157** <https://archleague.org/wp-content/uploads/2013/06/Screen-Shot-2013-06-11-at-12.45.04-PM.png>

- Fig. 158** <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b2100075t/f48.item.r=Feuilles%20d'acanthé>
- Fig. 159** <http://imagenes.aquienlasierra.es/2017/01/monasterio-768x512.jpg>
- Fig. 160** http://monasteriodelescorial.com/wp-content/uploads/2016/09/b_026.jpg
- Fig. 161** (Fotografia por Mbtz) https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%B4tel_de_ville_d%27Arles#/media/File:P1140835_Arles_h%C3%B4tel_de_ville_salle_RdC_rwk.jpg
- Fig. 162** [https://www.christies.com/img/LotImages/2010/NYR/2010_NYR_02400_0016_000\(galilei_galileo_discorsi_e_dimostrazioni_matematiche_intorno_due_nuove\).jpg](https://www.christies.com/img/LotImages/2010/NYR/2010_NYR_02400_0016_000(galilei_galileo_discorsi_e_dimostrazioni_matematiche_intorno_due_nuove).jpg)
- Fig. 163** https://www.uni-kl.de/FB-ARUBI/gta/Lehrveranstaltungen_WS_2014-15/GTA%20III/Firmitas.jpg
- Fig. 164** <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k10401404/f359.item>
- Fig. 165** <https://architectureincombination.files.wordpress.com/2010/12/monge-pc-vault.png>
- Fig. 166** <http://www.historywebsite.co.uk/Museum/OtherTrades/CraneFoundry/Casting.jpg>
- Fig. 167** <http://cabaredogoucha.pt/wp-content/uploads/2016/03/alcobaca14-1024x683.jpg>
- Fig. 168** (Fotografia por Marie-Lan Nguyen) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/05/Salle_de_lecture_Bibliotheque_Sainte-Genevieve_n07.jpg/1280px-Salle_de_lecture_Bibliotheque_Sainte-Genevieve_n07.jpg
- Fig. 169** https://www.bedouk.es/mediatheque/annonceur/2/0/6/0000499602_920x572.jpg
- Fig. 170** <http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkes/abc-structures-2005/concrete/05concrete.gif>
- Fig. 171** (RIBA Collections) <http://bridgewaterartscentre.co.uk/wp-content/uploads/2017/02/CIAM-GROUP.jpg>
- Fig. 172** http://1.bp.blogspot.com/-EcU6VcOWsWU/T8Y_NrQqHUI/AAAAAAAAABhw/N6r2UXTvqdU/s1600/Adolf+Loos,+Maison+M%C3%BCller,+1930,+Prague,+R%C3%A9publique+Tch%C3%A8que.jpg
- Fig. 173** <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e1/Bauhaus.JPG/1024px-Bauhaus.JPG>
- Fig. 174** https://static.dezeen.com/uploads/2016/07/weissenhof-siedlung-le-corbusier-photo-andreas-praefcke_dezeen_1568_4-936x669.jpg
Weissenhofsiedlung de Stuttgart
- Fig. 175** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Igreja_de_Nossa_Senhora_de_F%C3%A1tima_de_Lisboa%2C_1938.jpg
- Fig. 176** (Fotografia por Marco Currò) https://lh3.ggpht.com/p/AF1QipOH_6dYOrDO4k3igEuQ_vZZVNYTI-J6mLUcvixp=s1024
- Fig. 177** http://2015.openhouselisboa.com/wp-content/uploads/sites/3/1970/01/Igreja_N_S_Fatima_Pardal_Monteiro_09697a%C2%A9INSF.jpg
- Fig. 178** (Fotografia por Manuel Botelho) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/Escola_Secund%C3%A1ria_Diogo_de_Gouveia_Beja_2_img_6883.jpg
- Fig. 179** <http://www.archphoto.it/wp-content/ap/uploads/foto/abitare/tim15b.jpg>
- Fig. 180** http://lh3.googleusercontent.com/-GvjpQixl_lk/VVcanp7y9vI/AAAAAAAAABifQjZXLdVAknw0/1600-h/Exposi%2525C3%2525A7%2525C3%2525A3o%252520do%252520Mundo%252520Portugues%2525201940.78%25255B5%25255D.jpg
- Fig. 181** <https://signalmagazine.files.wordpress.com/2010/03/dsc03194.jpg>
- Fig. 182** <https://www.mundoportugues.pt/wp-content/uploads/sites/3/2018/01/portugal-dos-pequenitos-01-890x589.jpg>
- Fig. 183** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5f/Coimbra_pp_museu_do_traje.JPG/1280px-Coimbra_pp_museu_do_traje.JPG
- Fig. 184** <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/imagens/i319348.jpg>
- Fig. 185** <https://afasiaarchzine.com/wp-content/uploads/2017/07/Alison-Peter-Smithson-.Smithdon-High-School-.HUNSTANTON-4-1200x798.jpg>
- Fig. 186** (Fotografia por Ryan Frisk) https://c1.staticflickr.com/8/7110/7555678020_8e024167fe_b.jpg
- Fig. 187** (Fotografia por Zache) https://images.adsttc.com/media/images/56de/43fb/e58e/ced2/d400/013f/large_jpg/SaynatsaloTownHall4.jpg?1457406957
- Fig. 188** http://www.snpcultura.org/fotografias/igreja_aguas_gf_103.jpg
- Fig. 189** https://thumbs.web.sapo.io/?epic=YjIwK5vmz9OL3ypm9r4mFY965XhoYUfxDzyn5Lso67GjuMaA3+fg7MnGri6waPAIdiYtqG9WPA1g085Ai1ah2fnejPVoDs57ILe7BlgHtSofR0=&W=770&H=0&delay_optim=1
- Fig. 190** (Fotografia José Ucha Calvo) <https://pbs.twimg.com/media/CGFdC6xWMAEREZt.jpg>
- Fig. 191** (Fotografia por Jaime Silva) https://images.adsttc.com/adbr001cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2012/02/1328800961_jaimesilva_7.jpg
- Fig. 192** (Fotografia por Guillermo Hevio García) <https://www.archdaily.com/312877/ad-classics-casa-del-fascio-giuseppe-terragni/1251259035-05>
- Fig. 193** <https://i.pinimg.com/originals/d0/21/27/d0212779c46cab3ad2287c291d4feb9a.jpg>
- Fig. 194** (Fotografia por Fernando Guerra) <https://www.archdaily.com.br/br/875625/centro-galego-de-arte-contemporanea-de-alvaro-siza-pelas-lentes-de-fernando-guerra/59655c32b22e38a4e1000079-centro-galego-de-arte-contemporanea-de-alvaro-siza-pelas-lentes-de-fernando-guerra-foto>

- Fig. 195** http://4.bp.blogspot.com/-LQ-0BSEXhUg/Vq9EtZGk6II/AAAAAAAAAI_Y/fjZq62AR7O8/s1600/avenida-dos-aliados.jpeg
- Fig. 196** AMARAL, P. et al. Rochas ornamentais. In: GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 515 (ver Figura 9.27)
- Fig. 197** <https://oliraf.files.wordpress.com/2017/11/rotamc3a1rmorevilavic3a7osa-9.jpg?w=760>
- Fig. 198** Fotografia pelo autor
- Fig. 199** http://www.sagevanmarmi.com/wp-content/uploads/2015/07/cava_querciola-1-1.jpg
- Fig. 200** http://www.wire-saw-machines.com/Clkj_Images/upfile/Bigpic/2012721933765063.jpg
- Fig. 201** <https://miningandconstruction.com/wp-content/uploads/2013/08/Perfora-Girodrill.jpg>
- Fig. 202** https://www.stoneworld.com/ext/resources/Issues/May-2013/SW0513_Slideshow_Ozark03.jpg
- Fig. 203** <http://prgrupoparana.com/wp-content/uploads/2017/06/Granite-cutting-board-of-Imperial-Coffee-by-PR-Marble-Granite.jpg>
- Fig. 204** <http://prgrupoparana.com/wp-content/uploads/2017/06/Storage-yard-with-Imperial-Coffee-granite-PR-Grupo-Paran%C3%A1.jpg>
- Fig. 205** https://www.instagram.com/p/BnrhAgTBFpI/?taken-by=cprata_arquitetos
- Fig. 206** <https://1.bp.blogspot.com/-qaF3SkWIPCA/UyYjZm4wLil/AAAAAAAAIAk/t3NR0nsX1E8/s1600/Breton+bridge+saw+Smart-Cut+800+tomb+stone+%252812%2529.jpg>
- Fig. 207** <https://image.made-in-china.com/2f0j10aEJfITnMhdkr/Stone-Marble-Granite-CNC-Diamo.jpg>
- Fig. 208** <http://petracave.it/wp-content/uploads/2016/04/Fiammatura-granito.jpg>
- Fig. 209** <http://www.solancis.com/pt/thumbs/56252bec900bc877c5fdea1035a8db60.940.415.1.1.0.80.jpg?1429284590>
- Fig. 210** <http://www.moreiravazao.pt/images/sampledata/moreiravazao/produtos/tipos-de-acabamento/escailhado.jpg>
- Fig. 211** http://www.moreiravazao.pt/images/sampledata/moreiravazao/produtos/tipos-de-acabamento/bujardado_medio.jpg
- Fig. 212** <http://www.solancis.com/pt/thumbs/d902caf2c1f4ae27ead47928c1772666.940.415.1.1.0.80.jpg?1429284580>
- Fig. 213** <http://www.moreiravazao.pt/images/sampledata/moreiravazao/produtos/tipos-de-acabamento/polido.jpg>
- Fig. 214** http://www.moreiravazao.pt/images/sampledata/moreiravazao/produtos/tipos-de-acabamento/riscado_fino.jpg
- Fig. 215** http://mcgrawimages.buildingmedia.com/CE/CE_images/2016/december/Dec-MIA-4.jpg
- Fig. 216** http://4.bp.blogspot.com/_1DuHa0ggko/TTHbPO6Y5sl/AAAAAAAAAIE/q4wNQjYBjFA/s1600/100_3671.jpg
- Fig. 217** Fotografia pelo autor
- Fig. 218** Fotografia pelo autor
- Fig. 219** Esquema pelo autor. Consultado: AMARAL, P. et al. *Rochas ornamentais*. In: GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 503 (ver Fig. 9.19)
- Fig. 220** http://img.archiexpo.es/images_ae/photo-mg/77023-5801175.jpg
- Fig. 221** <http://www.ethicalstonecompany.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/205.jpg>
- Fig. 222** Esquema pelo autor
- Fig. 223** AMARAL, P. et al. Rochas ornamentais. In: GONÇALVES, M. Clara e MARGARIDO, F. (eds.). *Ciência e engenharia de materiais de construção*. Lisboa: IST Press, 2012, cap. 9, p. 508 (ver Figura 9.23)
- Fig. 224** Esquema pelo autor
- Fig. 225** Fotografia pelo autor
- Fig. 226** <https://blog.construtoralaguna.com.br/wp-content/uploads/2017/03/Marmorite-moderno-banheiro-2-Construtora-Laguna.jpg>
- Fig. 227** http://mcgrawimages.buildingmedia.com/CE/CE_images/2017/january/Jan-Stonply-1.jpg
- Fig. 228** <https://pic.stonecontact.com/picture201511/20172/122215/coralito-laminated-stone-composite-tile-porcelain-tile-base-p380972-4b.jpg>
- Fig. 229** http://www.jiameistone.com/images/composite/marble_glass/honey_onyx.jpg
- Fig. 230** <https://massets.cosentino.com/images/D6FBDC6B-BAC7-414A-8EEDFFEE0152EF72/1024x1204/charcoal-soapstone.jpg>
- Fig. 231** <https://assets02.cosentino.com/silestone/theme/images/encimeras/Silestone-Kitchen-Europea---Eternal-Marquina.jpg?auto=compress,format>
- Fig. 232** (Fotografia por Jastrow) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/Tiger_calf_Musei_Capitolini_MC1222.jpg
- Fig. 233** <http://alexstone-eg.com/new/images/joomlart/demo/waterjet.jpg>
- Fig. 234** <http://alexstone-eg.com/new/images/AboutUs0.jpg>
- Fig. 235** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/86/Meggen_pius_innen2.JPG/1280px-Meggen_pius_innen2.JPG
- Fig. 236** https://inspiration.detail.de/_uploads/5/8/b/58b58754f34ed/5ba6014d14af8e8d576f6d7b123e705749dc5a37.jpg
- Fig. 237** (Fotografia por Chimay Bleue) <https://www.flickr.com/photos/88017382@N00/40546978791/in/photostream/>
- Fig. 238** (Fotografia por Beinecke Library) <https://pbs.twimg.com/media/DnqOMzhXgAE2tI2.jpg>
- Fig. 239** http://materialdesign.it/media/formato4/md_3121.jpg
- Fig. 240** <https://i.pinimg.com/originals/58/f9/d6/58f9d66b9fd11d731dd097926ef82607.jpg>

- Fig. 241** http://www.sangiovannirotondo.it/sites/www.sangiovannirotondo.it/files/gallery/foto/12_chiesasanpio/5_chiesa.jpg
- Fig. 242** http://www.aetmedia.it/sites/default/files/img_prodotto/_MG_0928.jpg
- Fig. 243** <http://www.farinacostruzioni.it/progetti-realizzati/progetto.asp?codice=6&tipoImg=ESTERNI#fotogallery>
- Fig. 244** <https://blog.sagradafamilia.org/wp-content/uploads/2018/09/header-especialistas-sf-09-2018-v3.jpg>
- Fig. 245** https://blog.sagradafamilia.org/wp-content/uploads/2018/08/ev-modul_02.jpg
- Fig. 246** https://blog.sagradafamilia.org/wp-content/uploads/2018/08/201805_t_evangelista_marc_074-1024x488.jpg
- Fig. 247** <https://www.instagram.com/p/BnAtWBSII6h/?taken-by=basilicasagradafamilia>
- Fig. 248** <https://www.instagram.com/p/BnAtWBSII6h/?taken-by=basilicasagradafamilia>
- Fig. 249** <http://www.marmomac.com/wp-content/uploads/2014/03/Marmi-Pietre-e-Design-Marmomacc-2015-10.jpg>
- Fig. 250** <http://www.marmomac.com/wp-content/uploads/2014/03/gruppo-Toscomarmi-3.jpg>

Separador Materialização http://mattsimmonds.com/images/elevation_v_a.jpg

- Fig. 251** (Fotografia por Kevin Malawski) <https://archinect.com/news/bustler/5817/2017-norden-fund-awarded-to-pikionis-pathway-paving-the-acropolis-and-deep-skins-roger-anger-s-fa-ade-operations>
- Fig. 252** <https://www.flickr.com/photos/weownit/34535004936/>
- Fig. 253** (Fotografia por Chris Reed) https://pbs.twimg.com/media/Bj1Wf0VlcAEQ_D8H.jpg
- Fig. 254** <http://www.greek-islands.us/athens/athens-municipality-kolyttos/>
- Fig. 255** http://www.fbsr.it/wp-content/uploads/2010/12/resized/400x400/foto1_554.jpg
- Fig. 256** <https://divisare.com/projects/313234-dimitris-pikionis-helene-binet-landscaping-of-the-acropolis-surrounding-area>
- Fig. 257** (Fotografia por Mayte Piera) <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/la-memoria-de-las-piedras-el-paseo-arquitectonico-de-dimitris-pikionis>
- Fig. 258** Fotografia do autor
- Fig. 259** Fotografia do autor
- Fig. 260** Fotografia do autor
- Fig. 261** <https://camellia.blogs.sapo.pt/tag/casa+das+artes>
- Fig. 262** <http://www.aefaup.com/news/2014/2/2/percurso-001-souto-de-moura>
- Fig. 263** https://www.archdaily.com.br/br/764539/hombroich-foundation-promove-a-exposicao-souto-de-moura-1980-nil-2015?ad_medium=gallery
- Fig. 264** (Esquisso por Eduardo Souto de Moura) MOLA, Francesc (ed). Eduardo Souto de Moura, Architect. Barcelona : Loft, 2009, p. 172-173
- Fig. 265** *Eduardo Souto de Moura: 2009-2014*. N. 179. Madrid: El croquis ed., 2015, p. 122-123
- Fig. 266** *Eduardo Souto de Moura: 2009-2014*. N. 179. Madrid: El croquis ed., 2015, p. 120
- Fig. 267** (Fotografia por Luís Ferreira Alves) https://www.archdaily.com.br/br/766736/espaco-miguel-torga-eduardo-souto-de-moura?ad_medium=gallery
- Fig. 268** (Esquisso por Eduardo Souto de Moura) <https://www.archdaily.com.br/br/766736/espaco-miguel-torga-eduardo-souto-de-moura>
- Fig. 269** (Fotografia por Iwan Baan) <http://block.arch.ethz.ch/brg/content/project/armadillo-vault-venice-italy>
- Fig. 270** <http://www.armadillovault.com/armadillo-vault/>
- Fig. 271** (Fotografia por David Escobedo) <http://block.arch.ethz.ch/brg/content/project/armadillo-vault-venice-italy>
- Fig. 272** http://www.generelli.ch/img/project/new_special/_NIK2225_.jpg
- Fig. 273** http://www.atelierfallacara.it/_images/lavori/prototipi/2/zoom/5.html
- Fig. 274** <https://www.stone-ideas.com/49914/escada-em-rocha-ornamental-suspensa-no-ar-com-arco-de-320-graus/>
- Fig. 275** <https://www.stone-ideas.com/49914/escada-em-rocha-ornamental-suspensa-no-ar-com-arco-de-320-graus/>
- Fig. 276** <https://www.designboom.com/architecture/hypargate-installation-stereotomy-italy-08-09-2016/>
- Fig. 277** <https://www.snbr-stone.com/accueil/metiers/innovation/18-hypargate.html>
- Fig. 278** <https://divisare.com/projects/329813-giuseppe-fallacara-gaz-blanco-snbr-s-bureaux-hypargate>
- Fig. 279** <https://divisare.com/projects/329813-giuseppe-fallacara-gaz-blanco-snbr-s-bureaux-hypargate>
- Fig. 280** MACK, Gerhard. *Herzog & De Meuron 1978-1988: The Complete Works Volume 1*. Basel: Birkhauser, 1997. Bilingue, p. 65
- Fig. 281** MACK, Gerhard. *Herzog & De Meuron 1978-1988: The Complete Works Volume 1*. Basel: Birkhauser, 1997. Bilingue, p. 64
- Fig. 282** MACK, Gerhard. *Herzog & De Meuron 1978-1988: The Complete Works Volume 1*. Basel: Birkhauser, 1997. Bilingue, p. 67
- Fig. 283** MACK, Gerhard. *Herzog & De Meuron 1978-1988: The Complete Works Volume 1*. Basel: Birkhauser, 1997. Bilingue, p. 63
- Fig. 284** MACK, Gerhard. *Herzog & De Meuron 1978-1988: The Complete Works Volume 1*. Basel: Birkhauser, 1997. Bilingue, p. 63

- Fig. 285** <http://dominusestate.com/wp-content/uploads/2015/03/home.jpg>
- Fig. 286** <https://www.flickr.com/photos/sackerman519/6137648842/in/photostream/>
- Fig. 287** <https://www.flickr.com/photos/rafaelsr/5394837720/in/album-72157625796428113/>
- Fig. 288** <https://www.flickr.com/photos/rafaelsr/5394231727/in/album-72157625796428113/>
- Fig. 289** <http://arquitecturadegalicia.eu/blog/centro-de-estudios-de-musica/>
- Fig. 290** <https://www.ensemble.info/musicalstudycentre>
- Fig. 291** <https://www.archdaily.com/21496/musical-studies-centre-ensemble-studio/500df41128ba0d6625001cff-musical-studies-centre-ensemble-studio-image>
- Fig. 292** <http://arquitecturadegalicia.eu/blog/centro-de-estudios-de-musica/>

Separador Considerações Finais (Fotografia por Edward Burtynsky) <https://www.edwardburtynsky.com/projects/photographs/quarries/>

Pedra: Matéria, Método e Materialização

Carlos Alexandre Ferreira de Oliveira

FACULDADE DE ARQUITECTURA

