



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Paredes Exteriores Simples em Alvenaria

Viabilidade Técnico-Económica

José Filipe Pinheiro de Sousa Moreira da Silva

Licenciado em Arquitectura pela Universidade do Porto

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia
da Universidade do Porto para obtenção do grau de
Mestre em Construção de Edifícios

Orientador Científico:

Hipólito José Campos de Sousa

Porto, Setembro de 2009

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
AGRADECIMENTOS	VII
ÍNDICE DE TEXTO	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE QUADROS	XVII
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II: A ENVOLVENTE EXTERIOR DOS EDIFÍCIOS	5
CAPÍTULO III: ESTADO DO CONHECIMENTO DAS ALVENARIAS	19
CAPÍTULO IV: SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE PAREDES DE ALVENARIA	41
CAPÍTULO V: ECONOMIA E PRODUTIVIDADE DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA	93
CAPÍTULO VI: CASO DE ESTUDO	129
CAPÍTULO VII: CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
ANEXOS: PEÇAS DESENHADAS	146
REFERÊNCIAS	150

RESUMO

Com a generalização das estruturas reticuladas em betão armado, em meados do século XX, os edifícios em Portugal foram progressivamente perdendo solidez e massa, sobretudo devido ao aligeiramento das paredes de fachada em alvenaria. Na década de 1980, com o desenvolvimento da regulamentação relativa ao comportamento térmico de edifícios, a tendência para o aligeiramento das paredes de fachada ainda se manteve, pese embora a introdução de materiais de isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas. Esta redução de massa está na origem de várias patologias da construção, assim como da insatisfatória eficiência energética desses edifícios actualmente.

A revisão do anterior Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (1990), em vigor desde a sua publicação em 2006, parece estar a promover a reutilização de paredes exteriores de pano simples (muito comuns durante grande parte do século XX), agora com unidades de alvenaria de melhores desempenhos, nomeadamente térmico e mecânico. No entanto, as soluções de parede exterior simples mais comuns incluem ainda materiais de isolamento térmico na sua constituição.

A utilização de unidades de alvenaria de maior dimensão, vulgares noutros países europeus, permitirá não só garantir grande parte do isolamento térmico necessário das paredes exteriores (eventualmente sem materiais de isolamento térmico adicionais), como contribuir mais eficazmente para a inércia térmica dos edifícios, podendo desempenhar simultaneamente funções estruturais. Os sistemas integrados de alvenaria “modernos”, com um conjunto completo e coerente de peças para a resolução dos diversos pontos singulares de uma construção, reúnem num só elemento de construção quase todas as funções exigíveis às paredes exteriores (sendo apenas complementados pelos seus revestimentos), de alguma forma retomando a mesma lógica construtiva das antigas alvenarias de pedra.

Com o presente trabalho pretende-se avaliar o potencial dos sistemas de alvenaria “modernos”, discutindo a viabilidade da sua utilização em Portugal nos dias de hoje. Por outro lado, apontam-se eventuais melhorias dos sistemas existentes, no sentido da sua optimização e maior competitividade em relação aos sistemas construtivos correntes em Portugal. Dentro dos parâmetros de optimização identificados, destaca-se a prefabricação de painéis de alvenaria, pela sua potencialidade de revolucionar a forma de conceber e executar alvenarias de “nova geração”.

Palavras-chave: sistemas integrados de alvenaria; economia; produtividade.

ABSTRACT

As a result of the generalization of reinforced concrete frame structures with brick infill walls, in the mid 20th century buildings in Portugal progressively lost its former mass and solidity, mainly due to the weight reduction of façade brick masonry walls. In the 1980s, this trend continued in spite of the evolution of the thermal comfort and energy conservation codes which led to the introduction of thermal insulation products in cavity brick masonry walls. Such reduction in mass has contributed to many construction pathologies and to the unsatisfactory energy efficiency performance of those buildings by today standards.

The revision in 2006 of the thermal comfort and energy conservation code (*Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, 1990) seems to have promoted the return of the single leaf enclosure wall solution (commonly used during the 20th century), but now with superior performance masonry units, especially in thermal and mechanical terms. However, the most recurrent single leaf enclosure wall systems still include an additional thermal insulation layer.

Masonry units of larger dimensions, commonly used in other European countries, not only comply with most enclosure wall thermal insulation requirements (doing without the additional thermal insulation layer), but also contribute more effectively to the building thermal inertia. Moreover, such masonry units may be used in structural walls. The “modern” masonry systems, offering a complete and coherent set of pieces for solving several construction details, combine in a single construction element almost all functions demanded from an enclosure wall (complemented only by covering materials), somehow in the manner of the time-honoured stone masonry construction system.

The present study intends to evaluate the potential of the “modern” masonry systems, discussing its possibilities in Portugal. Moreover, improvements to available masonry systems are also pointed out, with the purpose of optimizing their performance and competitiveness relative to other current constructive systems in Portugal. Within the optimization parameters that have been identified, the prefabrication of masonry panels is highlighted due to its inherent potential to transform the conception and construction of “new generation” masonry walls.

Keywords: masonry systems; economy, productivity.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Hipólito de Sousa, o meu sincero agradecimento, pela oportunidade de aprendizagem e por apoiar a transversalidade e integração de diferentes áreas de conhecimento, nomeadamente entre a engenharia civil e a arquitectura.

À Joana, sempre presente...

Às restantes pessoas que me têm apoiado nesta difícil escalada, em especial ao Zé e à Teresa pelo seu apoio e incentivo.

Uma parte das informações e conhecimentos em que se baseou a presente dissertação é resultado da participação do autor nos Projectos de Investigação “cBloco” e “OTMAPS”, que envolveram a FEUP (cBloco) e o Instituto da Construção da FEUP (OTMAPS), ambos co-financiados pela Agência de Inovação (AdI), pelo que se agradece a estes organismos, assim como aos membros das equipas de investigação, pela partilha de experiências e conhecimentos.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II: A ENVOLVENTE EXTERIOR DOS EDIFÍCIOS	5
2.1. A fachada de um edifício	5
2.1.1. Função estrutural vs cerramento	7
2.1.2. Parte opaca vs vão na fachada.....	8
2.1.3. Eficiência energética	11
2.2. Evolução histórica das fachadas em Portugal	13
2.2.1. Arquitectura “tradicional”	14
2.2.2. O advento do betão armado e o “período moderno”	15
CAPÍTULO III: ESTADO DO CONHECIMENTO DAS ALVENARIAS	19
3.1. Considerações gerais	19
3.2. Enquadramento histórico	19
3.3. Da Pré-história até à II Guerra Mundial	20
3.4. Do Pós-guerra à década de 1970	26
3.5. Da década de 1970 à actualidade	28
3.6. Projecto de Investigação “OTMAPS”	31
CAPÍTULO IV: SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE PAREDES DE ALVENARIA	41
4.1. “Tosco” da parede.....	41
4.1.1. Sistema integrado de alvenaria.....	42
4.1.1.1. Peça base do sistema.....	44
4.1.1.2. Peças complementares do sistema	46
4.1.1.2.1. Peças de ajuste horizontal e vertical.....	47
4.1.1.2.2. Peças de remate	48
4.1.1.2.3. Peças de ângulo e de esquina.....	49
4.1.1.2.4. Peças de lintel.....	50
4.1.1.2.5. Peças de forra térmica	52
4.1.1.2.6. Peças de estore	53
4.1.1.2.7. Peças para paredes interiores	54

4.1.1.2.8. Peças para integração de infra-estruturas	56
4.1.1.2.9. Peças especiais	57
4.1.1.3. Peças de confinamento	58
4.1.2. Argamassa de assentamento	60
4.1.2.1. Tipos de argamassa	60
4.1.2.2. Enquadramento normativo	61
4.1.2.3. Exigências regulamentares	62
4.1.2.4. Execução das argamassas de assentamento	63
4.1.3. Utensílios para a execução da obra	65
4.2. Revestimentos	69
4.2.1. Classificação funcional	70
4.2.2. Exigências funcionais	71
4.2.2.1. Estabilidade	73
4.2.2.2. Segurança contra riscos de incêndio	74
4.2.2.3. Higiene, saúde e ambiente	74
4.2.2.4. Segurança no uso	75
4.2.2.5. Protecção contra o ruído	75
4.2.2.6. Economia de energia	76
4.2.3. Revestimentos exteriores	76
4.3. Exigências aplicáveis a paredes de alvenaria	79
4.3.1. Resistência mecânica e estabilidade	81
4.3.2. Conforto termohigrométrico	84
4.3.3. Estanquidade à água da chuva	89
4.3.4. Integração de redes e instalações	91
CAPÍTULO V: ECONOMIA E PRODUTIVIDADE DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA	93
5.1. Considerações gerais	93
5.2. Construção corrente em Portugal	94
5.3. Alvenaria com unidades de grande formato	97
5.4. Custo e rendimento de soluções construtivas	100
5.5. Ergonomia	108
5.6. Coordenação dimensional modular	112
5.6.1. Referência histórica	113

5.6.2. Objectivos	114
5.6.3. Definição, unidades e sistemas de referência.....	115
5.6.4. Relação da estrutura com a parede exterior	117
5.6.5. Dimensões, tolerâncias e juntas	118
5.7. Prefabricação.....	121
CAPÍTULO VI: CASO DE ESTUDO.....	129
6.1. Apresentação do caso de estudo.....	129
6.2. Concepção formal vs sistema construtivo.....	130
6.3. Selecção das unidades de alvenaria	132
6.4. Sistema com painéis prefabricados de alvenaria.....	135
CAPÍTULO VII: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	141
ANEXOS: PEÇAS DESENHADAS	146
REFERÊNCIAS	150
Referências bibliográficas.....	150
Normas e regulamentos.....	152
Referências da internet.....	154
Bibliografia Complementar.....	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Edifício em Córdoba com fachadas compostas por chapas de aço microperfuradas e panos de vidro justapostos (arquitetura: Justo Isasi e Alfonso Casares)	6
Figura 2: Cidade de Amran no Iémen e construção de um “Yurt” na Mongólia (fonte: <i>Wikimedia</i> [72]).....	7
Figura 3: Capela gótica “Sainte-Chapelle” em Paris (fonte: <i>Wikimedia</i> [72])	9
Figura 4: Situações tipo em paredes exteriores de edifícios durante o século XX [35].....	16
Figura 5: Comparação entre sistemas estruturais em edifícios em alguns países europeus [32]	18
Figura 6: <i>Monadnock Building</i> , Chicago, 1892 (fontes: <i>monadnockbuilding</i> [81], <i>Wikimedia</i> [72])	22
Figura 7: <i>Chile Haus</i> , Hamburgo, 1923 (fonte: <i>Wikimedia</i> [72])	23
Figura 8: Edifícios dos arquitectos Le Corbusier e J.J.P. Oud em <i>Weissenhof Estate</i> , Estugarda, 1927 (fonte: <i>Wikimedia</i> [72])	24
Figura 9: <i>Villa Savoye</i> , Arqt.º Le Corbusier, Paris, 1929-31 (fonte: <i>Wikimedia</i> [72]).....	25
Figura 10: <i>De La Warr Pavilion</i> , Arqt.ºs Mendelsohn & Chermayeff, Sussex, 1935 (fonte: <i>GreatBuildings</i> [78]) ...	25
Figura 11: <i>Poroton Tipo-E</i> (1984), <i>Poroton Blockziegel-T</i> (1986) (fonte: <i>Poroton</i> [86])	29
Figura 12: <i>Monomur 30</i> , <i>ThermoBlock T12</i> , <i>Eckziegel 30</i> (fontes: <i>Monomur</i> [81], <i>Zeller Poroton</i> [96]).....	30
Figura 13: <i>Unipor W08 Coriso</i> , <i>ThermoPlan MZ8</i> e <i>Poroton T9</i> (fontes: <i>Unipor</i> [94], <i>Poroton</i> [86])	31
Figura 14: Montagem do sistema de alvenaria “IsolBloco” (fonte: <i>Maxit-Portugal</i> [80])	33
Figura 15: Junta de assentamento descontínua e junta vertical preenchida	34
Figura 16: Configuração da peça base do sistema	35
Figura 17: Molde industrial de 9 peças do sistema de alvenaria	36
Figura 18: Cunhal e intersecção de paredes em alvenaria armada.....	36
Figura 19: Peças complementares de ajuste horizontal e vertical, peça de confinamento	37
Figura 20: Sistema integrado de alvenaria - situações tipo em alvenaria armada	38
Figura 21: Sistema integrado de alvenaria - situações tipo em alvenaria confinada.....	39
Figura 22: Unidades de alvenaria com e sem sistema de encaixe (fonte: <i>Poroton Itália</i> [85]).....	44
Figura 23: Experiência de extrusão de unidades cerâmicas com sistema de encaixe virado para baixo [8].....	45
Figura 24: Blocos de meio comprimento, de dimensão ajustável e com marca de corte (fontes: <i>Monomur</i> [81], <i>ThermoPlan</i> [83])	48
Figura 25: Esquemas de montagem de cunhal contrafiado e intersecção entre paredes em alvenaria armada ...	49
Figura 26: Peça com possibilidade de corte para realização de ângulo de 45° (fonte: <i>Monomur</i> [81]).....	50
Figura 27: Peças de ângulo de 90°, de 45°, e multi-ângulo (fontes: <i>Termoarcilla</i> [91], <i>ThermoPlan</i> [83], <i>Monomur</i> [81]).....	50
Figura 28: Peças de lintel sem isolante, com isolante a colocar em obra e com isolante incorporado (fonte: <i>Zeller Poroton</i> [96])	51
Figura 29: Elementos de confinamento com material mais isolante que o betão corrente (fonte: <i>Wienerberger</i> [95]).....	51
Figura 30: Lintéis prefabricados com comprimentos entre 80 e 260cm (fonte: <i>Imerys Structures</i> [79]).....	52
Figura 31: Pré-lintéis cerâmicos com isolante e de betão armado (fontes: <i>Poroton</i> [86], <i>Tout Faire Matériaux</i> [92])	52

Figura 32: Forra térmica em betão leve, cerâmica com e sem isolante (fontes: <i>Bétonor</i> [73], <i>Poroton</i> [86], <i>ImerysStructure</i> [79]).....	53
Figura 33: Peças para estore de rolo e estore de lâminas com isolamento incorporado (fonte: <i>Turber</i> [93])	53
Figura 34: Sistema “ZIS” de paredes interiores de compartimentação (fonte: <i>Bellenberg</i> [100]).....	55
Figura 35: Sistemas “SPZ” e “HLZ” para paredes interiores de compartimentação (fonte: <i>Rimmele</i> [87])	56
Figura 36: Peças para incorporação de infra-estruturas (fontes: <i>KAMTEC</i> [95], <i>Imerys Structures</i> [79])	57
Figura 37: Peças complementares do sistema com possibilidade de corte para detalhe do vão (fonte: <i>Wienerberger</i> [95])	57
Figura 38: Pré-lintéis em forma de “U” com diferentes tamanhos (fonte: <i>Wienerberger</i> [95], <i>Ziegel Forum</i> [99]) ..	58
Figura 39: Peças de peitoril para colocação de impermeabilização entre as mesmas (fonte: <i>Imerys Structure</i> [79])	58
Figura 40: Dois tipos de peças de confinamento aplicadas em cunhais (fontes: <i>Porotherm</i> [95], <i>Monomur</i> [82]) ..	59
Figura 41: Remates em cunhal e ombreira de vão com peças de confinamento.....	60
Figura 42: Junta de assentamento descontínua em alvenaria com blocos “Conforto”.....	64
Figura 43: Aplicação de argamassa cola em juntas delgadas (fonte: <i>Zeller Poroton</i> [96]).....	65
Figura 44: Nivelador para execução da primeira fiada da alvenaria (fontes: <i>Bellenberg</i> [100], <i>Unipor</i> [94]).....	66
Figura 45: Misturadoras de argamassa (fonte: <i>ConstructionComplete</i> [67])	66
Figura 46: Assentamento com junta descontínua e utensílios próprios para a sua execução (fontes: <i>Porotherm</i> [95], <i>Maxit</i>)	67
Figura 47: Máquinas doseadoras para aplicação de argamassa cola em juntas delgadas (fonte: <i>NBT ThermoPlan</i> [83]).....	67
Figura 48: Utensílios para o manuseamento de blocos (fontes: <i>Silverline</i> [88], <i>Unipor</i> [94], <i>Monomur</i> [82])	68
Figura 49: Carros para movimentação e elevação de cargas (fontes: <i>Star Industries</i> [90], <i>Southworth</i> [89]).....	68
Figura 50: Serras eléctricas para corte de unidades de alvenaria em obra (fontes: <i>Construction Complete</i> [67]) ..	69
Figura 51: Esquema de sobreposição de unidades de alvenaria, de acordo com o EC6 [46]	82
Figura 52: Recobrimento das armaduras de junta, de acordo com o EC6 [46].....	83
Figura 53: Variação da temperatura média no interior da fachada consoante a posição do isolamento térmico [1]	85
Figura 54: Cortes construtivos com situações típicas de pontes térmicas numa fachada em Zona Climática I ₃ ...	87
Figura 55: Amortecimento e desfasamento da onda de temperatura exterior provocados por uma parede de fachada [1]	88
Figura 56: Incidência de lesões musculo-esqueléticas não traumáticas por actividade, em <i>WSIB Data</i> (fonte: <i>eLCOSH</i> [36]).....	108
Figura 57: Equação NIOSH relativa à carga máxima admissível para o trabalhador (fonte: Portal Empresarial da Maia [70])	111
Figura 58: Pasta cerâmica crua com poliestireno (EPS), bloco “ThermoPlan MZ8”, betão aligeirado com argila expandida	111
Figura 59: Andaimos reguláveis em altura com dois níveis de plataformas (fonte: <i>Non-Stop Scaffolding</i> [84])...	112
Figura 60: Relação dos elementos de construção com a malha modular.....	116
Figura 61: Sobreposição entre diferentes malhas modulares [14]	117
Figura 62: Exemplo de coordenação dimensional em paredes de alvenaria armada (esq. - fiada par / dir. - fiada ímpar) [8]	118
Figura 63: Tolerâncias relativas a um elemento de construção [9]	119

Figura 64: Produção robotizada de painéis de alvenaria (fonte: <i>Architecture and Digital Fabrication laboratory, ETH Zürich</i> [75])	122
Figura 65: <i>Gantenbein Winery</i> na Suíça (fonte: <i>Architecture and Digital Fabrication laboratory, ETH Zürich</i> [75])	122
Figura 66: Produção de painéis prefabricados de alvenaria (fontes: <i>Franken Ziegel</i> [76], <i>Ziegel Elementbau</i> [98])	125
Figura 67: Elementos prefabricados para paredes, lajes e coberturas (fontes: <i>Franken Ziegel</i> [76], <i>GIMA Ziegel</i> [77], <i>ZiegelElementbau</i> [98]).....	125
Figura 68: Esquema de disposição das armaduras nos painéis prefabricados (fonte: <i>Franken Ziegel</i> [76])	127
Figura 69: Montagem de painéis prefabricados em obra (fonte: <i>Franken Ziegel</i> [76]).....	127
Figura 70: Integração de janelas e portas prefabricadas (fonte: <i>La maison de Barbie et Philou</i> [68])	128
Figura 71: Vista da maquete de trabalho	129
Figura 72: Vistas de Nascente e Poente (maquete de trabalho)	130
Figura 73: Habitação colectiva, Azurara, Arqt. ^a Paula Santos; Casa das Alosas, S. Tomé de Covelas, e Casa Trinitária, Porto, Arqt. ^o José Paulo dos Santos	137
Figura 74: Projecto de licenciamento de moradia em Vila Nova de Gaia - Plantas Pisos 0 e 1 - Esc.1:200	146
Figura 75: Cortes construtivos das soluções com alvenaria confinada e com painéis prefabricados de alvenaria - Esc.1:25.....	147
Figura 76: Perspectiva isométrica das soluções em alvenaria confinada e em painéis prefabricados de alvenaria - Esc.1:200	148
Figura 77: Plantas do Piso 0 com alvenaria confinada e com painéis prefabricados de alvenaria, dimensão e quantidade de painéis prefabricados, montagem dos painéis em duas paletes de 8x2,4m cada - Esc.1:200	149

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro I: Peças do sistema de alvenaria “IsolBloco” (fonte: Maxit-Portugal [80])	32
Quadro II: Classes da argamassa de alvenaria segundo a EN998-2 [50] (valores de resistência à compressão a 28 dias)	62
Quadro III: Composição em volume da argamassa corrente prescrita para as classes de resistência referidas no Anexo Nacional do Eurocódigo 6 [58]	62
Quadro IV: Exemplo de exigências e sub-exigências funcionais de revestimentos de paredes (ITE 25 [17])	72
Quadro V: Especificações relativas à constituição e regras de qualidade de alguns revestimentos exteriores	77
Quadro VI: Especificações relativas à aplicação em obra e cuidados de manutenção dos revestimentos	78
Quadro VII: Requisitos geométricos em paredes resistentes, de acordo com o Anexo Nacional do EC8 [59]	82
Quadro VIII: Tipos de construção e valores máx. dos coef. de comportamento, de acordo com o DNA do EC8 [59]	84
Quadro IX: Valores máximos do coeficiente “U” ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para a zona corrente de paredes exteriores (RCCTE [62])	86
Quadro X: Espessuras de paredes simples em alvenaria com blocos de betão, de acordo com a norma DTU 20.1 [43]	91
Quadro XI: Profundidade máxima de roços horizontais e inclinados, de acordo com o EC6 [47]	91
Quadro XII: Dimensões máximas de roços e cavidades verticais, de acordo com o EC6 [47]	92
Quadro XIII: Custos relativos à operação de execução de $1m^2$ de parede (LNEC [18])	101
Quadro XIV: Incidência dos principais recursos utilizados no custo directo da operação de construção (LNEC [18])	102
Quadro XV: Rendimento da operação de execução de $1m^2$ do tosco de paredes (LNEC [18])	103
Quadro XVI: Tempo de execução de alguns provetes de alvenaria para ensaio nos Laboratórios LSC e LA da FEUP	104
Quadro XVII: Produtividade de alguns sistemas de alvenaria (execução de provetes com $1,5m^2$ cada) [2]	105
Quadro XVIII: Estudo comparativo de economia e produtividade entre diferentes sistemas construtivos no Brasil [29]	106
Quadro XIX: Variação do custo em relação à estrutura reticulada de betão armado [25]	107
Quadro XX: Dimensões e peso de algumas unidades de alvenaria	110
Quadro XXI: Características de algumas unidades de alvenaria disponíveis no mercado nacional	133

CAPÍTULO I: Introdução

Desde a publicação do novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE [62]), no ano de 2006, aparentemente tem-se vindo a observar em Portugal a uma maior utilização de soluções de fachada em parede exterior simples. A utilização de paredes duplas, muito impulsionada pela primeira versão do RCCTE [61] em 1990 (devido à necessidade de introdução de isolamentos térmicos na caixa-de-ar), é actualmente dificultada pela necessidade de cumprimento das exigências relativas ao comportamento térmico das paredes exteriores, nomeadamente no que diz respeito à anulação de pontes térmicas planas na zona dos elementos estruturais.

No entanto, a grande maioria das soluções actuais de paredes exteriores simples em Portugal inclui materiais de isolamento térmico na sua constituição (p.ex. poliuretano ou poliestireno expandido ou extrudido), sobretudo pelo exterior, tanto em revestimentos delgados sobre isolante como em fachadas ventiladas com isolante na caixa-de-ar (p.ex. placagens de pedra grampeadas ao suporte). Desta forma, uma vez que a forra de isolamento térmico pelo exterior é contínua, as pontes térmicas na zona dos elementos estruturais são anuladas, resolvendo uma das principais fragilidades do sistema construtivo (heterogéneo) composto por estruturas porticadas de betão armado com paredes de preenchimento em alvenaria.

A utilização de isolamentos térmicos pelo exterior em paredes de fachada deve-se ainda ao insuficiente isolamento proporcionado pela grande maioria das unidades de alvenaria existentes em Portugal. Contrariamente ao que aconteceu noutros países europeus, os fabricantes nacionais só recentemente iniciaram o desenvolvimento de unidades de alvenaria com melhores desempenhos térmico e mecânico, para utilização em alvenaria de preenchimento ou estrutural.

Um dos principais objectivos da utilização de unidades de alvenaria com melhores desempenhos é prescindir dos materiais de isolamento térmico para o cumprimento da legislação actual, concentrando em apenas um elemento de construção (o bloco ou unidade de alvenaria) as diversas exigências aplicáveis às paredes exteriores. Por simplificação, ao longo do trabalho irá ser utilizada a denominação “unidades de alvenaria de grande formato”, referindo-se às unidades que só por si garantem o necessário isolamento térmico da parede, ou que o garantem em conjunto com revestimentos “tradicionais” ou aligeirados (p.ex. argamassas leves). Estas unidades de alvenaria têm a particularidade de ser multifuncionais, garantindo (em conjunto com os revestimentos) a necessária estanquidade à água, os isolamentos térmico e acústico, bem como a resistência mecânica da parede de alvenaria (eventualmente até com funções estruturais, simples, armada ou confinada).

O carácter multifuncional destes blocos oferece vantagens quanto à economia e produtividade em obra, assim como à sustentabilidade das soluções construtivas, uma vez que permite reduzir a

diversidade de materiais a utilizar nas paredes de fachada e o seu tempo de execução em obra. Os ganhos são ainda maiores quando em alvenarias estruturais, que por dispensarem a execução de estruturas porticadas em betão armado, reduzem simultaneamente as necessidades de material e de mão-de-obra necessárias à execução do “tosco” da construção.

Pelos motivos apontados, interessa avaliar a viabilidade do uso em Portugal de sistemas construtivos com base neste tipo de unidades de alvenaria, tendo em conta a disponibilidade actual de materiais e sistemas, o seu enquadramento na regulamentação em vigor, bem como a sua adaptabilidade às condicionantes existentes na indústria da construção (qualificação da mão-de-obra, técnicas de construção, etc.).

Por outro lado, interessará compreender de que forma estes sistemas podem tornar-se cada vez mais competitivos, contribuindo para a sua maior utilização em Portugal. A definição de sistemas integrados de alvenaria (com peças complementares à peça base do sistema), em substituição da tradicional utilização de um único tipo de unidade de alvenaria, é fundamental para a maior rentabilidade dos sistemas de alvenaria, mas também para garantir a desejável flexibilidade e adaptabilidade aos projectos (de arquitectura e de estruturas) e aos pontos singulares de uma construção.

A prefabricação de painéis de alvenaria, já existente em alguns países europeus, surge hoje como uma das possibilidades de optimização dos sistemas de alvenaria com unidades de grande formato. Actualmente existem inclusivamente sistemas integrados de prefabricação, reunindo num mesmo sistema completo e coerente soluções para paredes (exteriores e interiores), lajes de piso e cobertura, abrangendo a totalidade dos elementos constituintes do “tosco” de uma construção.

Desta forma, o presente trabalho propõe-se analisar o contexto das paredes exteriores simples em alvenaria na Europa e em Portugal, procurando identificar as possibilidades de utilização e optimização de sistemas integrados de alvenaria no contexto português, o seu potencial e as suas limitações, organizando-se em cinco partes distintas.

No Capítulo II procura-se sublinhar a importância das fachadas ao longo da evolução histórica das construções, assim como a importância da sua eficiência energética na actualidade. É ainda referida especificamente a evolução histórica das fachadas em Portugal.

No Capítulo III procura-se sintetizar o estado de conhecimento das alvenarias, na perspectiva da sua evolução histórica num primeiro momento, e seguidamente do ponto de vista do desenvolvimento tecnológico actual em Portugal e na União Europeia. Descreve-se um projecto de investigação recente, no qual a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto participou, que tinha por objectivo o desenvolvimento de um sistema para alvenaria estrutural.

No Capítulo IV apresenta-se o sistema construtivo, constituído pelo “tosco” da parede e seus revestimentos. Nesta parte do trabalho mostra-se a constituição de um sistema integrado de alvenaria, com as peças base e complementares do sistema. Referem-se ainda as exigências aplicáveis ao “tosco” das paredes de alvenaria (unidades e argamassa), aos revestimentos, assim como ao conjunto da parede, formado pelo “tosco” e revestimentos.

No Capítulo V analisam-se os sistemas integrados de alvenaria do ponto de vista da sua economia e produtividade, apontando as vantagens identificadas em relação aos sistemas construtivos correntes em Portugal. Nesta parte do trabalho apontam-se ainda possíveis caminhos para uma maior competitividade das alvenarias com unidades de grande formato, para isso abordando-se as questões da ergonomia, da coordenação dimensional modular e da prefabricação, enquanto parâmetros de optimização dos sistemas de alvenaria.

Por fim, no Capítulo VI procura-se discutir a viabilidade dos sistemas de alvenaria com unidades de grande formato em Portugal, através da análise de um caso de estudo, o projecto de uma moradia em Vila Nova de Gaia. O mesmo caso de estudo serve para questionar a adaptabilidade dos projectos de arquitectura a estes sistemas de alvenaria e, mais especificamente, a um sistema de prefabricação de painéis de alvenaria.

CAPÍTULO II: A envolvente exterior dos edifícios

No presente capítulo procura-se sublinhar a importância das fachadas ao longo da evolução histórica das construções, desde a antiguidade até aos dias de hoje. Na análise da evolução histórica das fachadas, salientam-se aspectos como a relação entre função estrutural e não-estrutural dos elementos que as constituem, ou a relação entre cheio (parte opaca) e vazio (vãos) que as caracterizam. Posteriormente refere-se a importância da eficiência energética de uma construção na actualidade, destacando-se o papel das fachadas nesse desempenho.

Numa segunda parte do capítulo procura-se sintetizar a evolução histórica das fachadas especificamente no caso de Portugal, para o que se divide em dois grande períodos: um primeiro período de arquitectura “tradicional”, e posteriormente o período “moderno”, após a generalização das estruturas em betão armado.

2.1. A fachada de um edifício

A envolvente exterior de um edifício tem um papel essencial no desempenho global do mesmo, sendo-lhe dedicada cada vez maior atenção nos dias de hoje. Esta superfície, da mesma forma que a pele humana, estabelece e regula a relação entre os ambientes exterior e interior, em aspectos tão distintos como as diferenças térmicas, a passagem de vapor, a entrada de luz ou as relações visuais. Esta é também uma fronteira entre o espaço público e o espaço privado, entre os ambientes “natural” e “artificial” ou regulado, adaptando-se não só às necessidades dos seus utilizadores, mas também a um contexto local que é urbano, paisagístico, ou por exemplo sociocultural. Esta fronteira tem assim um carácter multi-funcional, protegendo os ocupantes do edifício e regulando o seu ambiente interior, assim como ao mesmo tempo dignificando os usuários através da sua imagem para o exterior.

A crescente preocupação com o desempenho da envolvente dos edifícios, nomeadamente com o desempenho funcional das fachadas, reflecte-se no quadro normativo e regulamentar, como se pode constatar através da recente publicação em Portugal do novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE [62]), ou por exemplo em normas europeias aplicadas a componentes e sistemas construtivos para fachadas (p.ex. caixilharias, protecções solares, revestimentos, etc.).

Os desafios que se colocam hoje são reflexo do aumento das exigências (definidas em regulamentos e normas técnicas), mas sobretudo de dinâmicas existentes na indústria da construção,

destacando-se a proliferação de novos materiais, componentes e soluções construtivas, resultado da inovação tecnológica e da abertura dos mercados internacionais.

Se por um lado esta profusão de soluções construtivas, aliada a uma mão-de-obra pouco qualificada, origina frequentemente erros de concepção e de construção, com principal relevo nas fachadas dos edifícios (pelo grande número de situações particulares existentes nas mesmas), por outro é este mesmo aumento de soluções que oferece novas possibilidades à arquitectura. Entre fachadas de vidro ou de novos materiais compósitos, novas soluções de caixilharia, novos componentes e mesmo novas soluções estruturais, a evolução das tecnologias existentes na indústria da construção (no fabrico de materiais, componentes e na execução das obras) tem alterado muito a imagem das construções, e já não apenas da arquitectura de alguns edifícios “ícone” que se pretendem distintos e inovadores [Figura 1].



Figura 1: Edifício em Córdoba com fachadas compostas por chapas de aço microperfuradas e panos de vidro justapostos (arquitectura: Justo Isasi e Alfonso Casares)

Na procura de soluções para as fachadas, muitas vezes a sua concepção não é feita com o rigor que se exige, utilizando soluções menos seguras do ponto de vista do seu comportamento, difíceis de executar, ou com pormenorização insuficiente. O detalhe ocupa um lugar cada vez mais importante no projecto e na construção de uma fachada, tentando conciliar diferentes materiais, componentes e sistemas, num conjunto que se pretende equilibrado, resistente, durável, etc. A garantia de qualidade dos elementos e componentes a integrar numa fachada é cada vez mais importante, assim como, não menos importante, o seu correcto desempenho de conjunto.

2.1.1. Função estrutural vs cerramento

Desde sempre, o principal objectivo da construção de habitação foi o de proteger ou abrigar. Deste modo, o homem procurava proteger-se contra as adversidades do clima, dos ataques de animais selvagens e inclusivamente dos seus semelhantes. Os primeiros “abrigos”, ainda muito rudimentares, inspiravam-se na natureza e eram realizados com recurso a matérias-primas locais. Já nessa altura, a distinção entre as funções estrutural e não-estrutural dos diversos elementos que constituíam a “pele” do edifício estava presente na sua concepção e construção.

Sendo verdade que as funções estrutural e não-estrutural dos elementos que constituem uma fachada estiveram sempre presentes na construção dos “abrigos” ou dos edifícios, existem dois grandes momentos na história da construção que contribuíram para a sua maior distinção: um primeiro momento foi marcado pela descoberta do arco, permitindo o aumento da dimensão dos vãos e concentrando mais as cargas em elementos estruturais “lineares” como vigas e pilares; e um segundo momento, já mais recente na história, marcado pela utilização de estruturas de betão armado, que passaram a permitir construir de forma quase independente um “esqueleto leve” e posteriormente uma “capa” de revestimento em diversos tipos de materiais.

A construção da “pele exterior” dos edifícios, enquanto elemento que concentra distintas funções (de protecção aos agentes atmosféricos, de estabilidade, ou por exemplo de filtragem de luz solar), sempre teve em toda a História uma relação muito próxima às condições locais, dependendo assim do clima existente, dos materiais disponíveis e das técnicas locais. Assim, na arquitectura vernacular “desde sempre se encontraram os dois tipos de postura: cerramentos que eram ao mesmo tempo estruturas portantes - comuns em climas quentes e secos; separação total entre as duas funções - comuns em povos nómadas ou em climas quentes e húmidos” [22] [Figura 2].



Figura 2: Cidade de Amran no lémen e construção de um “Yurt” na Mongólia (fonte: *Wikimedia* [72])

Na construção vernacular portuguesa, até à generalização das estruturas de betão armado em meados do séc. XX, a separação entre estrutura e cerramento nas paredes exteriores era muito pouco frequente, uma vez que as diferentes tipologias construtivas no país utilizavam normalmente paredes de carga pelo exterior, quer fossem em alvenaria de pedra, tijolo ou adobe, ou, ainda que mais raramente, em taipa. Esta separação tornou-se mais comum a partir de certa altura em edifícios urbanos de maior dimensão, como por exemplo na Baixa Pombalina em Lisboa, ou noutros locais em pisos superiores e recuados de cobertura, sobretudo pela introdução de elementos estruturais em madeira (gaiola ou esqueleto) reforçando as alvenarias.

2.1.2. Parte opaca vs vão na fachada

A relação entre cheio e vazio, entre parede opaca e vão aberto, é o principal factor a considerar na caracterização da fachada de um edifício. Esta é a relação que marca toda a história da arquitectura ao nível da linguagem das fachadas dos edifícios, ajudando a caracterizar as diferentes épocas e estilos arquitectónicos. Por outro lado, é também esta relação que contribui determinantemente para o comportamento da fachada enquanto fronteira entre ambiente exterior (agressivo) e interior (controlado) do edifício. A área superficial dos vãos, os materiais empregues em caixilharias e envidraçados, ou por exemplo os dispositivos de sombreamento e ventilação, condicionam o desempenho da “pele exterior” do edifício (em conjunto com a parte opaca da fachada), contribuindo assim para a qualidade do ambiente interior dos edifícios.

Nos primeiros “abrigos”, a porta de entrada era ainda a única abertura para o exterior. A necessidade de iluminação dos espaços interiores das habitações levou a que mais tarde se comesçassem a romper aberturas nas fachadas, o que apenas começou a ser frequente já durante a época romana. Depois da fundação de Roma no século VIII a.C., as cidades crescem e começam a ter algumas infra-estruturas inovadoras (redes de água e saneamento, edifícios públicos de serviços, etc.). Foi nesse período de grande desenvolvimento que os romanos começaram a utilizar com maior frequência as janelas nas fachadas dos edifícios e inclusivamente, em casos excepcionais, as janelas envidraçadas. No entanto, as casas unifamiliares (“domus” ou “insula”) tinham poucas janelas para o espaço público da cidade, pois a maioria das janelas abriam-se para o pátio interior (o “atrium”), espaço central desta tipologia de habitação.

O vidro para encerramento de janelas foi inicialmente aplicado em clerestórios (janelas superiores típicas das basílicas romanas) existentes nas abóbadas. O vidro soprado produzia-se na Península Itálica e utilizava-se sobretudo em vasos e copos, sendo através destes objectos acessível à população em geral. Mas a sua utilização em janelas implicava custos de produção muito maiores,

sendo portanto nesta fase um privilégio apenas destinado às classes ricas e ao clero. Na maioria das habitações romanas, as janelas eram apenas orifícios que podiam ser fechados com portadas de madeira, grades de pedra ou de metal.

A pequena dimensão das janelas existentes nos edifícios, mesmo em épocas posteriores ao império romano, era antes de mais resultado das tecnologias de construção existentes (atendendo ao facto de que as paredes exteriores eram por norma paredes portantes em alvenaria de pedra ou tijolo de grande espessura), mas também resultado da necessidade de proteger o interior do edifício contra as adversidades do clima. Estas aberturas para iluminação dos espaços interiores tendem a aumentar à medida que as técnicas de construção evoluem, libertando gradualmente as paredes exteriores da sua função estrutural, e à medida que paralelamente vão evoluindo as técnicas de produção do vidro.

As igrejas góticas do final do séc. XII marcam uma fase de transição, de tentativa clara de aumentar as aberturas para o exterior e iluminar melhor o interior destes edifícios, aligeirando como nunca o sistema construtivo em alvenaria de pedra e construindo assim espaços de culto completamente diferentes dos existentes até então. No esplendor do gótico em França as paredes exteriores resistentes chegam a anular-se em certas partes dos edifícios, sendo substituídas por pilares pouco afastados entre si e vitrais compreendidos entre os mesmos [Figura 3]. As paredes inferiores na zona dos vitrais servem exclusivamente para oferecer protecção ao clima e às outras adversidades do exterior, não tendo qualquer função estrutural. Estes novos desenvolvimentos foram tornados possíveis pela utilização de duplos contrafortes (típicos da arquitectura gótica), conduzindo as cargas através de elementos que se dispunham de forma perpendicular em relação à fachada.



Figura 3: Capela gótica “Sainte-Chapelle” em Paris (fonte: *Wikimedia* [72])

Os envidraçados nas janelas tornaram-se mais comuns em casas nobres apenas durante o séc. XV, inicialmente fixos (não-móveis) e aplicados directamente na pedra (chumbados). No final do séc. XV, denotando preocupações com o ambiente térmico interior dos edifícios, começou a ser utilizada a massa de vidraceiro nas juntas, contribuindo para uma melhor estanquidade e vedação das janelas. A aplicação de caixilharias nas janelas inicia-se no período do Renascimento.

Somente na época do Renascimento Tardio e do Maneirismo Italiano, em pleno séc. XVI, é que torna a haver desenvolvimentos significativos na produção do vidro, conseguindo-se ampliar consideravelmente a área dos envidraçados. Como até ao séc. XV as janelas envidraçadas (sobretudo em igrejas) não tinham por objectivo estabelecer relações visuais com o exterior, mas antes permitir iluminar o interior dos edifícios protegendo e isolando do exterior, apenas mais tarde é que surge a necessidade de produzir vidros transparentes para aplicação em janelas. Já durante o séc. XVII começaram a produzir-se vidros planos incolores com aproximadamente 50 cm² de área, correspondendo também a uma fase em que as caixilharias e a fixação do vidro sofrem alterações. A posição dos barrotes e dos tafifes nos caixilhos inverte-se, passando o vidro a ser colocado pelo exterior e privilegiando assim a vista interior do caixilho. A compreensão do caixilho enquanto elemento também decorativo inicia-se nesse período.

Na cultura ocidental, não eram apenas as limitações ao nível da produção do vidro que levavam à opção por aberturas de pequena dimensão nos edifícios de habitação. Mais característicos dos países do Sul da Europa (e por exemplo do Norte de África), esse tipo de vãos deviam-se sobretudo a razões climáticas e culturais. As janelas mistas meridionais, típicas destas regiões mais quentes, conjugavam a função de iluminação através dos envidraçados com a função de ventilação através das gelosias (estrutura saliente em madeira).

Pelo contrário, a habitação típica dos países orientais tinha aberturas muito maiores. Neste tipo de janelas era corrente a utilização de caixilhos em madeira preenchidos, não por vidro como no ocidente, mas antes com papel translúcido. Eram geralmente portas de correr ou inclusivamente pivotantes de grande dimensão, que quando abertas garantiam uma continuidade entre o espaço interior da habitação e o espaço exterior do pátio ou jardim. Nesta tipologia de habitação era também frequente a existência de alpendres ou varandas em todo o perímetro da casa, assim como portadas duplas opacas (de correr) que serviam de protecção à radiação solar.

Da mesma forma que a habitação típica oriental, a habitação europeia do século XIX já apresentava por vezes uma área de envidraçado superior à da parte opaca, sobretudo nas fachadas principais. Isto acontece já não só nos países do Norte e do Centro da Europa, como também nos países do Sul, como será exemplo disso a habitação típica portuguesa deste período, com as suas varandas envidraçadas normalmente dispostas no alçado de trás da habitação.

A janela de guilhotina, apesar de ter surgido em França durante o séc. XV, teve a sua maior divulgação em Portugal durante o séc. XVIII, principalmente nas zonas costeiras do continente, nos Açores e na Madeira. “A janela de guilhotina pode considerar-se a primeira janela moderna, pois possui um desenho muito depurado que dispensa as ferragens, mas proporciona o máximo de luz e resiste bem aos ventos, ainda que tenha pouca estanquicidade” [22]. Este tipo de janela facilitava a aplicação de portadas interiores, permitindo controlar mais facilmente a entrada de radiação solar e calor, assim como controlar as perdas de calor durante a noite.

Ainda no séc. XVIII, a janela à “francesa”, com duas folhas de batente, passou a ser muito utilizada na habitação em Portugal. Esta janela era já realizada sem mainel central (aro fixo na zona da junta entre folhas), sendo que os batentes centrais das portadas fechavam sobre si pela sobreposição dos perfis verticais das folhas. Estas janelas eram por vezes utilizadas apenas no alçado principal do edifício, estabelecendo assim uma distinção para com o resto das fachadas onde se colocavam janelas de guilhotina. Mais frequente era a sua utilização na forma de portas envidraçadas, no primeiro piso do alçado principal quando existia varanda, apresentando a divisão típica da janela “Palladiana” (Palladio, séc. XVI), constituída por três panos distintos: as duas folhas de abrir de batente eram rematadas superiormente por uma bandeira fixa.

2.1.3. Eficiência energética

O consumo de energia, com principal relevo para as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de outros gases com efeito de estufa (que contribuem para o aquecimento global), é actualmente uma das maiores preocupações mundiais no que diz respeito às actividades humanas. As estratégias e políticas nacionais e da Comissão Europeia visam cumprir, à escala local, as metas estabelecidas no âmbito do Protocolo de Quioto e de Lisboa, fixadas na Carta de Aalborg (*European Sustainable Cities & Towns Campaign - the Aalborg Charter* [71]). O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE [62]), aplicado aos edifícios de habitação e de serviços em Portugal, transpõe parcialmente a Directiva nº 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Este regulamento veio estabelecer novas exigências para o comportamento térmico dos edifícios, responsáveis por uma percentagem cada vez maior dos gastos energéticos mundiais.

Na Matriz Energética da cidade de Lisboa [21], apresentada no ano de 2005 pela Agência Municipal de Energia e Ambiente de Lisboa, refere-se que 46% do consumo de energia primária no Concelho de Lisboa diz respeito aos edifícios. Este facto deve-se ao grande consumo de electricidade, principalmente nos edifícios de serviços, que são responsáveis por 65% do consumo do total do parque edificado. Como a energia eléctrica tem por base uma produção deslocalizada em

vários tipos de centrais de transformação espalhadas pelo território, apenas a análise do consumo de energia primária, em detrimento da energia final (onde os transportes se assumem claramente como os mais utilizadores), permite perceber o peso específico dos edifícios nos impactos ambientais e económicos.

Na matriz energética de Lisboa refere-se ainda que, em edifícios de habitação, o aquecimento do ambiente interior ocupa a terceira posição nos gastos totais de energia (17%), apenas ultrapassado pelos gastos em aquecimento de água sanitária (24%) e em frio doméstico (18%). Estes valores sublinham a importância do comportamento térmico dos edifícios, nomeadamente das fachadas, principais responsáveis pelo comportamento térmico das construções, atendendo ao facto que a habitação plurifamiliar (construção em altura) ocupa um lugar de relevo nos consumos de energia do parque edificado (e que a superfície útil de fachadas é muito maior que a da cobertura nesta tipologia de habitação).

Muito embora as intervenções ao nível da redução no aquecimento ambiente dos edifícios tenham menor impacto, a curto prazo, que as intervenções relativas a outros tipos de utilizações, as estratégias para a redução do consumo energético deverão contemplar, com diferentes ponderações, todo o tipo de intervenções possíveis. Adivinha-se num futuro próximo o aumento do número de programas de carácter nacional e internacional para a redução dos consumos energéticos e do impacto ambiental dos edifícios, com vista à sustentabilidade global do planeta, mas também das economias nacionais, cada vez mais dependentes da racionalização dos consumos (energéticos e não só) e optimização dos processos produtivos. O novo regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa foi criado pela União Europeia com o intuito de reduzir as emissões através de um sistema de trocas comerciais de licenças entre estados membros, destacando a importância dos investimentos nacionais em projectos que procurem reduzir o impacto ambiental das suas actividades.

A título de exemplo, no Reino Unido foi desenvolvido o programa “*Zero Carbon Britain*” que tem por objectivo reduzir quase a zero as emissões de CO₂ na utilização dos edifícios até 2027 [97]. Este projecto incide sobretudo sobre os gastos energéticos em fase de utilização (aquecimento ambiente, aquecimento de água sanitária, etc.), mas procura também abordar questões relativas à utilização de materiais e sistemas de construção com menor impacto ambiental (tanto em reabilitação de edifícios, de modo a melhorar o seu desempenho, como na construção de edifícios novos).

A eficiência energética mede-se pela capacidade de produzir algo, ou obter determinado resultado, consumindo o mínimo de energia possível. A eficiência energética de uma construção, numa perspectiva abrangente, será produto da relação entre todos os gastos energéticos necessários à sua construção, utilização, manutenção e demolição/reciclagem, e o seu desempenho final (benefícios/ganhos). A eficiência energética de uma construção dependerá também, portanto, do

desempenho “normal” ou regular de todas as suas diferentes partes ou componentes (fachadas, coberturas, lajes de piso, etc.).

Embora se deva analisar de uma forma global o desempenho de uma construção, conforme prevê por exemplo o novo RCCTE [62], existem parâmetros de avaliação que poderão ser individualizados, relativos ao comportamento de um determinado elemento ou sistema. Desta forma, o desempenho de uma fachada de um edifício poderá ser avaliado segundo vários parâmetros, entre os quais o isolamento térmico dos elementos que a constituem (zona opaca corrente, pontos singulares, etc.), a capacidade de retenção de calor dos materiais (inércia térmica), o factor solar e as perdas de calor através de vãos envidraçados, ou por exemplo a taxa de renovação do ar interior proporcionada pelas caixilharias ou por sistemas de ventilação.

As fórmulas de cálculo do comportamento térmico dos edifícios previstas no RCCTE [62] mostram essa interacção entre diversos tipos de factores. Em relação aos elementos opacos das paredes, são utilizados os valores dos coeficientes de transmissão térmica “U” superficiais e lineares das paredes exteriores, e ainda a classe de inércia térmica, que também entra em linha de conta com outros elementos de construção como pisos e paredes interiores. Em relação aos elementos envidraçados de uma fachada, são utilizados valores relativos aos ganhos solares durante a estação de aquecimento (Inverno), e valores relativos às cargas devidas à entrada da radiação solar na estação de arrefecimento (Verão). Os cálculos entram ainda em linha de conta com a taxa de renovação do ar interior dos edifícios, estipulando para esse efeito valores mínimos que influem directamente nas necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios.

2.2. Evolução histórica das fachadas em Portugal

Nos últimos séculos, a evolução das fachadas na construção portuguesa e um pouco por todo o mundo pode ser dividida em dois grandes períodos: as épocas anterior e posterior ao advento do betão armado. Muito frequentemente, o surgimento do betão armado é visto como tendo um impacto semelhante ao da descoberta do arco na história da construção de edifícios. De facto, se a descoberta do arco num período anterior permitiu o surgimento de toda uma nova arquitectura dos edifícios, baseada no aumento dos vãos e concepção de espaços mais amplos, a utilização do betão armado vem criar uma nova revolução nas técnicas de construir e edificar.

O excelente comportamento e grande resistência do betão armado conduziram a um aligeiramento das estruturas dos edifícios, libertando da função estrutural grande parte das paredes exteriores e interiores dos edifícios. Esta situação conduziu à utilização de cada vez mais materiais diferentes nos panos de preenchimento, área de parede opaca entre elementos estruturais (pilares e

vigas). Este é também o motivo para o surgimento de um maior número de patologias associadas a comportamentos diferenciais dos materiais, tanto pelas suas distintas funções (estrutural ou de preenchimento), como pelas suas diferentes composições químicas e formas, originando reacções distintas aos agentes externos (ao clima, aos impactos e movimentos, etc.).

Se na anterior tecnologia em alvenaria de pedra ou tijolo existia uma continuidade estrutural (com materiais de resistência adequada à sua função), mas também uma homogeneidade na constituição das paredes, com as estruturas porticadas e paredes de preenchimento passou a acontecer com alguma frequência incompatibilidades físicas e químicas entre materiais, muitas vezes inadequados ao uso a que se destinam. Um caso muito frequente é o de cargas impostas por elementos da fachada, como por exemplo caixas de estore, palas ou mesmo varandas, sobre paredes com resistência limitada para o efeito. Se por um lado as estruturas porticadas em betão armado vieram trazer possibilidades anteriormente inexistentes, por outro lado passaram a possibilitar muitas soluções de maior fragilidade construtiva, resultando no aparecimento de grande quantidade de patologias.

2.2.1. Arquitectura “tradicional”

Nos edifícios de construção antiga dita “tradicional”, anteriores à generalização das estruturas em betão armado em meados do séc. XX, “era possível identificar os recursos geológicos, climatéricos e culturais de cada região pela simples observação das fachadas dos edifícios nas diferentes zonas do país” [35]. Esta construção estava adaptada ao local onde se erigia, existindo assim uma relação muito próxima entre os recursos locais e a prática da construção. Como resultado da grande diversidade geográfica, geológica e climatérica entre as regiões do Norte, Centro e Sul do país, a arquitectura tradicional apresentava a mesma diversidade, tanto a nível formal como ao nível das tecnologias construtivas utilizadas.

Apesar da diversidade existente, a arquitectura tradicional apresentava nas várias regiões do país soluções muito equilibradas, não só em harmonia com as condições locais, mas também entre os diversos materiais e componentes utilizados na construção do edifício, resultado de uma vasta experiência acumulada das pessoas que trabalhavam na construção. Este era um saber que passava de mestre para aprendiz, estando as soluções utilizadas já vastamente experimentadas e aperfeiçoadas ao longo de muitos anos.

Apesar da diferença existente entre os sistemas construtivos característicos das várias regiões do país - no Norte as paredes exteriores em pedra de granito de grande dimensão e espessura, no Centro (Beiras) as fachadas compostas por aparelhos de pedra de tamanho mais reduzido e no Sul,

onde a pedra escasseia, a utilização da terra e de fibras naturais nas paredes exteriores - estas diferentes tipologias construtivas apresentavam algumas características comuns. Uma constante é a definição de uma envolvente pesada, sendo que as paredes exteriores conciliavam a função estrutural (recebendo as cargas transmitidas pelas vigas nos pisos e pelas asnas na cobertura), com funções de protecção ao clima. A grande espessura e massa ofereciam um bom isolamento e inércia térmica às paredes exteriores, garantindo espaços interiores frescos no Verão e retenção do calor no Inverno, assim como a estanquidade ao ar e à água da chuva.

A utilização da madeira nas estruturas interiores dos edifícios e nos revestimentos de piso, por exemplo, permitia uma construção leve pelo seu interior, que oferecia também vantagens de comportamento, salientando-se o bom desempenho acústico e termo-higrométrico da madeira. A sua leveza teria também a vantagem de reduzir as cargas transmitidas às paredes de alvenaria, uma vez que estas têm um comportamento limitado a acções horizontais. Esta dicotomia entre um miolo dos edifícios leve e uma envolvente pesada, garantindo um bom comportamento geral aos edifícios e soluções equilibradas em harmonia com as condições locais, caracterizou a construção portuguesa até há bem pouco tempo.

Também ao nível dos revestimentos, as soluções tradicionais traduziam uma grande coerência com os suportes utilizados. Os materiais empregues e as técnicas de execução muito experimentadas garantiam boa qualidade dos revestimentos e a sua durabilidade ao longo do tempo.

Com a Revolução Industrial e o crescimento da indústria cerâmica durante o séc. XIX, as diferenças regionais tendem a esbater-se por uma progressiva menor utilização dos materiais locais. Contudo, “os princípios da protecção térmica aprendidos na arquitectura tradicional continuaram a ser uma preocupação central na construção de fachadas por algum tempo” [35], situação que seria dramaticamente alterada com alguma da arquitectura do “período moderno”, com maiores vãos nas fachadas e com paredes exteriores menos isolantes.

O modernismo, a meados do século XX, é resultado dos avanços tecnológicos que permitiram a globalização e transformação da arquitectura e da construção, e de uma relação menos sólida para com as condições locais. Com a mudança dos materiais as técnicas de construção teriam que ser outras, iniciando-se um período de desqualificação progressiva da mão-de-obra nas obras, factor igualmente importante para a menor qualidade construtiva que se vem observando desde então.

2.2.2. O advento do betão armado e o “período moderno”

A partir de meados do séc. XX, com a generalização das estruturas porticadas de betão armado e preenchimento com tijolo furado industrial (utilizado tanto em paredes exteriores como interiores), a

constituição das paredes de fachada altera-se drasticamente. É sobretudo a partir da década de 1970, com o aumento repentino de construção nova como resultado da migração da população do interior do país para o litoral (sobretudo para as cidades de Lisboa e Porto), que o tijolo industrial de furação horizontal (leve) substitui os materiais “tradicionais” (pesados) como a pedra, o tijolo maciço ou perfurado, ou o adobe e a taipa.

Este aumento da construção, dado o contexto político e social em que ocorreu, deu início a uma época de grande desqualificação da construção, tanto do ponto de vista arquitectónico (formal) como do ponto de vista construtivo. Mais recentemente, o desequilíbrio entre a oferta e a procura, levando ao aumento da competitividade no mercado imobiliário, assim como o aumento das exigências regulamentares relativas à construção de edifícios, obrigaram a que os níveis de qualidade da construção aumentassem também, embora ainda longe do que seria desejável (e do nível de qualidade da construção corrente noutros países europeus).

Muitos dos edifícios habitacionais que se construíram nesta fase de grande crescimento das cidades foram construídos com paredes exteriores de fachada com dois panos leves de tijolo furado sem isolamento adicional, comprometendo o seu desempenho térmico, situação que conduzia ao aumento dos gastos energéticos para aquecimento interior das habitações.

Analisando a evolução do tipo de paredes utilizadas em fachadas ao longo do século XX em Portugal [32], poderá constatar-se que a partir da década de 1950 os panos de tijolo furado estão presentes em todas as soluções características das distintas épocas [Figura 4]. As paredes simples de pedra ou de tijolo maciço que se usavam até à década de 1950 viram reduzir a sua espessura característica, passando a ser utilizadas numa solução de parede dupla pela aplicação de um novo pano de tijolo furado pelo interior, colocado com algum distanciamento para a realização de uma caixa-de-ar, inicialmente sem isolamento térmico no seu interior.

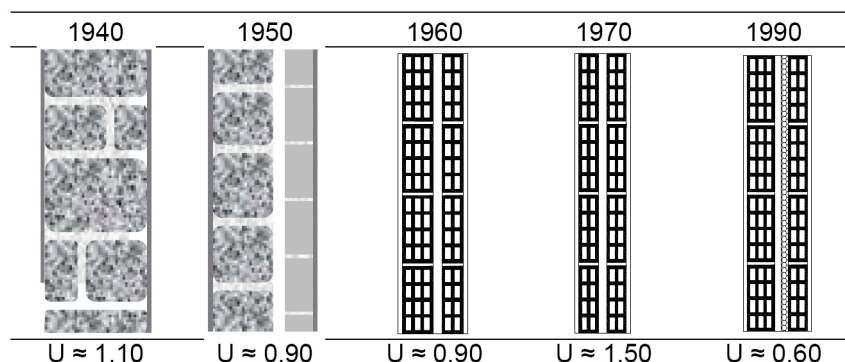


Figura 4: Situações tipo em paredes exteriores de edifícios durante o século XX [35]

A realização de paredes duplas a partir da década de 1950, ainda sem a introdução de materiais isolantes na caixa-de-ar, teve como principais objectivos melhorar o comportamento termo-higrométrico e a estanquidade das paredes exteriores de fachada. No entanto, esta duplicação de panos de parede trouxe consigo um aumento muito significativo de problemas de construção relacionados com a execução em obra. Para além da fragilidade dos panos de parede, que pela sua reduzida espessura (quase sempre entre 7cm e 15cm) apresentam problemas de estabilidade e de fissuração, este sistema construtivo é muito susceptível à qualidade de execução da mão-de-obra. A dificuldade de execução destas paredes leva a que recorrentemente o espaço de ar no interior da parede não cumpra os objectivos para os quais foi pensado, acabando por ficar com dimensões insuficientes, pontos de ligação entre panos, ou muito frequentemente sem orifícios para ventilação e drenagem de eventuais infiltrações de água.

Na década de 1960 as paredes exteriores passaram a ser quase sempre constituídas por dois panos de tijolo furado, ainda sem isolamento térmico na caixa-de-ar, sendo o pano de tijolo mais espesso colocado normalmente pelo exterior. Na década de 1970 a qualidade construtiva decaiu, e ainda sem isolamentos térmicos os panos de tijolo furado diminuíram de espessura, passando ambos a ter uma reduzida ou média espessura. Esta foi a fase de pior qualidade construtiva, justificada pela extrema necessidade de habitação e desregulamentação geral. Nesta fase, sobretudo no Sul do país onde o clima é mais ameno, chegaram a construir-se paredes exteriores simples em tijolo furado cerâmico ou de betão. Apenas na década de 1980 as paredes exteriores voltaram a ter melhores desempenhos, adoptando-se as paredes duplas com o pano exterior mais espesso e a inclusão de materiais isolantes térmicos na caixa-de-ar.

A colocação de materiais de isolamento térmico no interior das paredes duplas iniciou-se em meados da década de 1980, tendo-se generalizado na década de 1990, como resultado da entrada em vigor da regulamentação relativa ao conforto térmico em edifícios (RCCTE) [61]. Estes isolantes, por vezes projectados, mas sobretudo em placas de espessura entre 2cm a 4cm (p.ex. poliestireno expandido ou extrudido), apesar de terem permitido melhorar genericamente o desempenho das fachadas, aumentaram a sua dificuldade de execução em obra, fazendo surgir muitas patologias relacionadas com o mau posicionamento e fixação dos materiais de isolamento (estabelecendo uma ponte de ligação entre panos).

Com o aperfeiçoamento dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, como por exemplo os revestimentos delgados (rebocos armados) sobre isolante ou as fachadas ventiladas (muito frequentemente com placagens de pedra pelo exterior), nos últimos anos tem-se verificado uma menor utilização de paredes duplas na construção em Portugal. Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior (sistemas “ETICS”, do inglês *External Thermal Insulation Composite Systems*) permitem reduzir os erros de concepção e de execução em obra, oferecendo também melhores desempenhos às paredes exteriores, que passam a contribuir mais eficazmente para a inércia térmica do edifício (pela disposição da “massa térmica” do lado “quente” da parede). Ao nível do projecto, a anulação de

pontes térmicas torna-se mais simples, e na execução da obra a colocação das pranchas do material isolante é feita com facilidade e rapidez pelo exterior.

No entanto, apesar das vantagens descritas, os sistemas de isolamento pelo exterior não deixam de apresentar algumas fragilidades na sua execução e manutenção. Nas fachadas ventiladas a caixa-de-ar está frequentemente na origem da contaminação dos revestimentos exteriores por agentes biológicos que degradam a sua imagem e reduzem a sua durabilidade, enquanto que por exemplo nos sistemas de rebocos armados sobre isolante a resistência superficial do sistema é fraca, sendo de difícil reparação. Nestes últimos, a manutenção da imagem é igualmente posta em causa pela deposição de partículas na superfície rugosa que apresentam, obrigando a maior manutenção que os rebocos tradicionais. Apesar de existirem acabamentos de rebocos armados (dos sistemas ETICS) menos rugosos, neste momento a maioria dos fabricantes/aplicadores em Portugal apenas têm como sistemas certificados ou homologados os acabamentos com maior textura.

Ainda sem grande expressão em Portugal, quando comparado por exemplo com outros países europeus [Figura 5], as paredes exteriores simples em alvenaria com desempenhos térmicos e mecânicos melhorados (em alvenaria de preenchimento ou estrutural) permitem cumprir as mais recentes exigências, nalguns casos sem a inclusão de materiais de isolamento térmico adicionais.

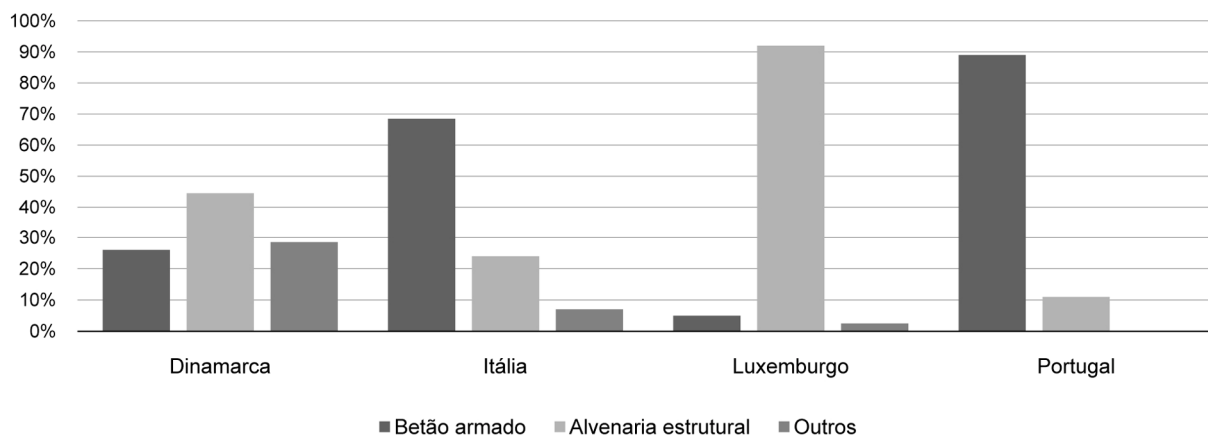


Figura 5: Comparação entre sistemas estruturais em edifícios em alguns países europeus [32]

Em países como a Alemanha, a utilização das estruturas de betão armado e o *boom* de construção no período do pós-guerra não conduziram a uma ruptura total com os sistemas construtivos ditos “tradicionais”, tendo havido uma transição suave entre a execução das alvenarias estruturais antigas (sobretudo de tijolo maciço, mas também de outros sistemas construtivos com madeira) e as alvenarias ditas “modernas”, com blocos de grande formato e elevada massa térmica.

CAPÍTULO III: Estado do conhecimento das alvenarias

No presente capítulo procura-se sintetizar o estado de conhecimento das alvenarias, na perspectiva da sua evolução histórica num primeiro momento, e seguidamente do ponto de vista do desenvolvimento tecnológico actual em Portugal e na União Europeia. Descreve-se um projecto de investigação recente, no qual a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto participou, que tinha por objectivo o desenvolvimento de uma unidade e sistema associado para alvenaria estrutural (simples, armada ou confinada), em blocos de betão leve com argila expandida, para utilização em paredes exteriores simples sem materiais de isolamento térmico adicionais.

3.1. Considerações gerais

O estado do conhecimento das alvenarias de blocos de grande formato e furação vertical, em betão leve ou em cerâmica, é o estado do conhecimento que existe nos países europeus, onde foi desenvolvido este tipo de unidades de alvenaria. As diferenças no conhecimento e na produção existentes entre os diversos países europeus, apesar da crescente homogeneização que resulta da aproximação entre países, são ainda notórias, sendo resultado de diferentes realidades da indústria da construção (diferentes estados de desenvolvimento), factores culturais, ou por exemplo diferentes realidades geográficas (sismicidade, clima, etc.).

O desenvolvimento tecnológico das unidades de alvenaria em material cerâmico é claramente superior ao das unidades em betão leve, uma vez que genericamente possibilitam obter desempenhos (sobretudo mecânicos e térmicos) mais otimizados. Em Portugal, existem actualmente esforços por parte da indústria para o desenvolvimento de ambos os tipos de unidades de alvenaria, estando o seu desenvolvimento ainda muito condicionado pelo atraso no desenvolvimento tecnológico das unidades fabris, assim como pela reduzida adesão a estes sistemas construtivos por parte dos intervenientes no sector da construção.

3.2. Enquadramento histórico

A tecnologia de construção baseada na utilização de blocos de grande formato com furação vertical em alvenaria é uma tecnologia com muito poucos anos, quando comparada com a dimensão temporal das alvenarias em tijolo maciço. Os primeiros passos nesta tecnologia foram dados em

meados do séc. XX, como resultado da tentativa de desenvolver um novo sistema que permitisse construir paredes simples e que não apresentasse as mesmas limitações das alvenarias existentes até então. A história das alvenarias em tijolos ou blocos é sobretudo a história das alvenarias de unidades cerâmicas, pois o betão tem uma menor presença nestes desenvolvimentos.

3.3. Da Pré-história até à II Guerra Mundial

A construção de alvenarias com produtos de argila remonta à Pré-história, em civilizações que se localizaram no médio oriente, na região conhecida como “Crescente Fértil” ou, mais propriamente, na Mesopotâmia. A civilização Suméria que aí se estabeleceu, por volta de 6000 anos A.C., construía as suas cidades com recurso ao adobe (tijolo de argila e fibras naturais seco ao sol), conferindo-lhes uma longevidade assinalável. A tecnologia evoluiu mais tarde pelas mãos dos egípcios, iniciando-se a fase de cozedura das peças, de forma a aumentar-lhes a resistência e durabilidade. Este foi um dos grandes marcos na evolução desta tecnologia.

O grande salto no desenvolvimento e na divulgação da tecnologia de construção em alvenaria de tijolo de argila cozida (cerâmica) foi dado mais tarde pelo Império Romano. Aos romanos estão associados alguns dos avanços mais importantes da história desta tecnologia: por um lado, a utilização regular de argamassas estáveis e resistentes, conferindo-lhes muito melhores características, e por outro a definição de um tamanho standard para as unidades de alvenaria (28 x 14 x 5 cm), para além de procedimentos uniformes para a sua cozedura. O controlo dos diversos componentes da alvenaria (unidades e argamassa) esteve na base do grande desenvolvimento das suas técnicas de construção.

O arco e a abóbada começam a ser utilizados pelo Império Romano no vasto conjunto de edificações, desde habitação plurifamiliar com vários pisos a edifícios públicos de grande imponência, espalhados um pouco por todo o território sob o seu domínio e marcando assim uma das principais evoluções a nível técnico e formal da história da construção. A grande divulgação da alvenaria cerâmica deveu-se não só ao seu potencial enquanto material resistente e durável, que permitia a realização dos vãos através das novas técnicas construtivas do arco e da abóbada, mas também pela sua fácil produção, alcançando preços baixos e uma grande qualidade dos produtos.

Ainda durante o Império Romano desenvolve-se o primeiro tratado de arquitectura e construção, intitulado “*De Architectura*” e da autoria de Marcus Vitruvius Polius (séc. I A.C.). Este é o primeiro registo escrito da existência de um Arquitecto e de regras para a construção, reunindo num mesmo documento aspectos construtivos e formais da construção dos edifícios. A sua importância reside nesta fusão entre tecnologia construtiva e desenho arquitectónico, demonstrando o incremento de

potencial que as novas técnicas de construção trouxeram à construção de edifícios. Na base das ideias transcritas no documento estavam três conceitos chave, “*firmitas*”, “*utilitas*” e “*venustas*”, ou seja, estabilidade, utilidade e estética. “A construção utilizando alvenarias conjuga os três princípios de forma dependente e interligada. É um sistema que obriga que a concepção se submeta ao programa, obrigando a que o uso e a estética se reflectem na estrutura, e vice-versa. Desse ponto de vista, a construção em alvenarias é uma construção que se pode considerar como “honesta” e “verdadeira” [20].

Posteriormente, durante os reinos bárbaros (no período que se convencionou chamar Idade Média), a tecnologia da alvenaria em tijolo cerâmico continua em uso mas com menor presença, sendo que as tecnologias construtivas em madeira voltam a recuperar alguma da sua importância. Embora a opção fosse maioritariamente, em quase toda a Europa, por alvenarias de pedra e/ou por estruturas em madeira, as alvenarias em cerâmica voltam a ganhar novo relevo na península itálica a partir do séc. XV.

No período denominado de *Quattrocento* Italiano volta-se a fazer uso extensivo das alvenarias cerâmicas, muito embora já de forma totalmente diferente dos períodos anteriores. As paredes em tijolo cerâmico passam a ser vistas como sendo inestéticas ou menos dignas (pobres), começando-se a rebocar as paredes de fachada e, em edifícios mais nobres, a usar cantarias de pedra. Este fenómeno faz-se sentir mais no Sul da península italiana, onde a tendência é claramente para rebocar as fachadas, enquanto no Centro e Norte do país muitas fachadas em alvenaria cerâmica mantêm-se aparentes.

A tecnologia em alvenaria cerâmica apenas volta a sofrer grandes alterações em pleno séc. XVIII, aquando da primeira revolução industrial. A nova forma de fundir metais e a invenção da máquina a vapor, por exemplo, contribuíram para o enorme êxodo das populações, migrando para as grandes cidades industriais, assim como para o enorme crescimento populacional. O *boom* de construção de habitação, mas também a nova maquinaria produtiva, levaram a que a produção de tijolos cerâmicos aumentasse em número e se tornasse mais competitiva, alcançando melhor qualidade e preços cada vez mais baixos.

A principal revolução da indústria cerâmica deu-se ao nível da cozedura e da organização geral da produção. O produto desta indústria torna-se melhor, tem mais qualidade e sobretudo uma maior uniformidade. O tijolo cerâmico vem desta forma dar resposta às necessidades emergentes: construção rápida (tendo em conta as outras opções da época), económica e com garantia de qualidade. O seu fornecimento e distribuição era fácil de fazer, e as unidades de produção distribuíam-se um pouco por todo o lado, localizando-se sempre relativamente perto do local de construção. No Centro e Norte da Europa esta tecnologia abunda, sendo utilizada inclusivamente para a construção de outros edifícios para além de habitação colectiva, como por exemplo das unidades fabris.

Durante a segunda metade do séc. XVIII e início do séc. XIX, período entendido como a primeira fase da revolução industrial, os avanços tecnológicos com origem no Reino Unido promovem melhorias contínuas na maquinaria industrial, com óbvios reflexos na construção. É neste período que se patenteiam muitos processos de fabrico de materiais de construção, de grande importância até meados do séc. XX. Em 1855, é patenteado o primeiro processo industrial de fabrico de aço com características estabilizadas e estáveis, por Henry Bessemer. Em 1867, o betão armado é patenteado por Joseph Monier.

No início do séc. XX alguns factores contribuíram para que a Alemanha se tornasse, a par da Inglaterra, numa das nações mais industrializadas da Europa e do Mundo. Mas foi no Reino Unido que se iniciou uma nova forma de construir fachadas que perdura até aos dias de hoje: a fachada composta por parede dupla e caixa-de-ar no seu interior. Esta era a primeira tentativa de melhorar o comportamento higrométrico das paredes exteriores, possibilitando a saída de vapor de água do interior para o exterior, e impedindo a entrada de água do exterior para o interior (conduzindo-a pela caixa-de-ar).

É neste período, no final do séc. XIX, que se constrói um dos maiores marcos da história da alvenaria em edifícios. O “*Monadnock Building*” [Figura 6], um “arranha-céus” construído no ano de 1892 em Chicago, é um edifício com dezassete pisos acima do solo (60 m de altura), integralmente constituído por paredes estruturais de alvenaria de tijolo cerâmico maciço. Para suportar o seu peso, as paredes na base do edifício foram construídas com 1,83 m de espessura.



Figura 6: *Monadnock Building*, Chicago, 1892 (fontes: *monadnockbuilding* [81], *Wikimedia* [72])

Na última década do séc. XIX, ao mesmo tempo que se utilizava a alvenaria estrutural em edifícios de grande escala como o *Monadnock Building*, dava-se início a algumas experiências com o betão armado em estruturas de edifícios. Este é o início do grande desenvolvimento que as estruturas em betão armado tiveram durante o séc. XX, correspondendo também ao início do declínio das seculares alvenarias estruturais em edifícios.

Um pouco mais tarde, no período entre as duas grandes guerras mundiais, existe um declínio da indústria cerâmica europeia, pela redução das alvenarias estruturais nos edifícios e sua substituição gradual por estruturas porticadas em betão armado. O edifício “*Chile Haus*” [Figura 7], construído no ano de 1923 em Hamburgo, é um dos edifícios de alvenaria estrutural mais marcantes desta fase de transição na Europa.



Figura 7: *Chile Haus*, Hamburgo, 1923 (fonte: *Wikimedia* [72])

Durante a década de 1920, em alguns países europeus, já se sente muito a progressão das estruturas porticadas de betão armado na construção de edifícios, ainda antes de se fazer sentir em Portugal. A arquitectura modernista surge com impacto, fazendo das coberturas planas e dos “pilotis” a sua imagem de marca. Os conceitos alteram-se drasticamente, pois a forma de construir também. Nunca antes se pudera pensar nas paredes ou nos cunhais sem função estrutural. Nunca tinha existido tanta liberdade na disposição das paredes interiores, ou por exemplo na concepção dos vãos de fachada. Esta é uma fase de redescoberta da arquitectura, em sintonia com as evoluções ao nível do projecto de estruturas em betão armado.

Um dos grandes marcos desta transição foi o “*Weissenhof Estate*” [Figura 8], um bairro-modelo construído em 1927 em Estugarda, que resultou da vontade de construir um caso de estudo internacional do que mais tarde passou a ser conhecido como “Estilo Internacional” de “Arquitectura Moderna”. Este bairro foi construído para uma das exposições da “*Deutscher Werkbund*”, associação alemã de artistas, arquitectos, designers e industriais. Esta associação tinha por objectivo inicial

estabelecer parcerias entre os industriais e os profissionais do design, de modo a aumentar a competitividade das empresas alemãs no mercado global. Foi através desta associação que mais tarde surgiu a escola de design “*Bauhaus*”, com enorme relevância na história do design e da arquitectura modernista.

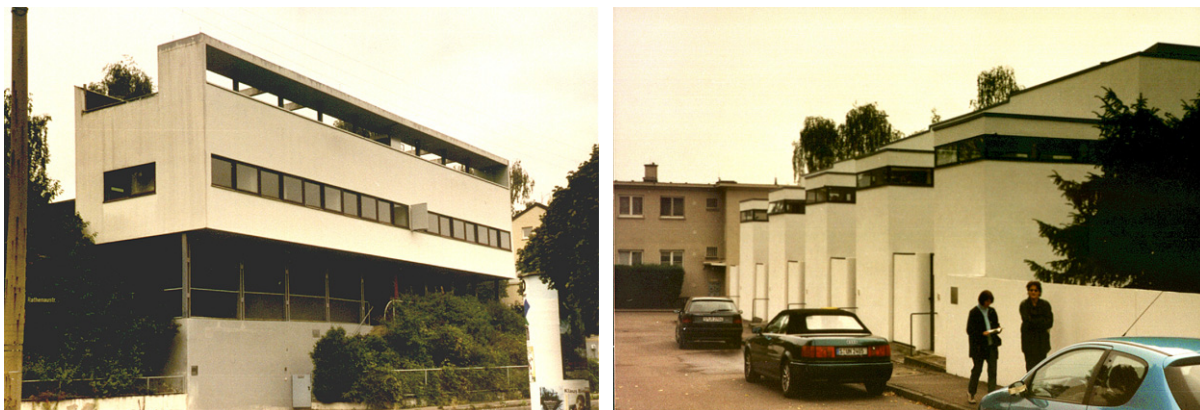


Figura 8: Edifícios dos arquitectos Le Corbusier e J.J.P. Oud em *Weissenhof Estate*, Estugarda, 1927 (fonte: *Wikimedia* [72])

Apesar do vanguardismo formal e até construtivo de algumas das habitações de *Weissenhof*, grande parte adoptou ainda a alvenaria estrutural como sistema construtivo. Mesmo nos anos que se seguiram, vários dos arquitectos mais conceituados, como por exemplo Mies van der Rohe ou Alvar Aalto, continuaram a utilizar a alvenaria estrutural com bastante frequência e em edifícios que obtiveram uma enorme relevância na história da arquitectura moderna. No entanto, a grande maioria dos seguidores destes arquitectos que estiveram na origem dos novos movimentos, optam cada vez mais pelas estruturas de betão armado, pelos “pilotis” e pelos terraços, elementos representativos do progresso.

Le Corbusier, enquanto mentor do novo movimento, expõe nalguns textos tornados célebres (no jornal “*L'Esprit Nouveau*” ou por exemplo no livro “*Vers une architecture*”) as ideias que regem a nova arquitectura, sintetizados nos “cinco pontos para uma nova arquitectura”: os “*pilotis*”, o “terraço-jardim”, a “planta livre”, a “fachada livre”, e a “janela horizontal”. Estes cinco pontos correspondem a cinco elementos arquitectónicos tornados possíveis pela introdução da nova tecnologia do betão armado na construção de edifícios. A *Villa Savoye* [Figura 9], construída em 1929 nos arredores de Paris, é considerada a obra de Le Corbusier que melhor sintetiza estes cinco pontos da nova arquitectura, traduzindo os pensamentos modernistas de vanguarda.



Figura 9: *Villa Savoye*, Arqt.º Le Corbusier, Paris, 1929-31 (fonte: *Wikimedia* [72])

Esta fase de transição, principalmente durante a década de 1920, é marcada pelo surgimento dos regulamentos de cálculo das estruturas em betão armado, passo decisivo na sua afirmação e no declínio das estruturas em alvenaria. Nesta fase, a indústria da construção em alvenaria de tijolo ainda não dispunha de regulamentos unificados, sendo o conhecimento transferido de mestre para discípulo, baseado na experiência e não em cálculos científicos objectivos. Os formatos das unidades cerâmicas variavam de país para país, e as regras de concepção das estruturas em alvenaria dependiam em grande parte das equipas construtoras.

Estavam criadas as condições para que o betão armado substituísse decisivamente as estruturas de alvenaria. As estruturas porticadas em betão armado ofereciam uma maior rapidez de execução, uma maior economia e qualidade, para além de uma maior liberdade arquitectónica. Com o Movimento Moderno em plena afirmação, a nova expressão arquitectónica tirava partido das potencialidades oferecidas pelo betão armado, criando edifícios completamente distintos dos que existiam até então [Figura 10]. O golpe decisivo para a indústria cerâmica deu-se na Segunda Guerra Mundial, durante a qual foram destruídas muitas das suas unidades industriais.



Figura 10: *De La Warr Pavilion*, Arqt.^{os} Mendelsohn & Chermayeff, Sussex, 1935 (fonte: *GreatBuildings* [78])

3.4. Do Pós-guerra à década de 1970

A Segunda Guerra Mundial teve um efeito verdadeiramente devastador para a indústria em funcionamento e para as cidades do centro da Europa. Os primeiros tempos após a guerra foram de grande recessão, seguindo-se mais tarde um período de enorme crescimento, sobretudo em países como a Alemanha que antes da guerra eram já altamente industrializados. Também pela maior necessidade de reconstrução das suas cidades, e provavelmente por tradição construtiva, foi curiosamente a Alemanha um dos países onde a indústria cerâmica dedicada a alvenaria estrutural mais evoluiu até aos nossos dias.

Nas décadas que se seguiram à guerra, a necessidade urgente de habitação levou ao desenvolvimento de técnicas mais rápidas de construção, cenário propício para o declínio das alvenarias estruturais que se veio a fazer sentir. Por esta altura, os sistemas de alvenaria estrutural que se usavam tinham ainda por base a utilização do tijolo maciço ou perfurado, colocado em aparelho inglês, francês ou outro, mas sempre requerendo uma enorme mão-de-obra especializada e períodos mais largos de execução. O betão armado apresentava-se como a solução óptima para uma construção mais célere e económica, tendo o aço alguma presença também, muito embora nada comparável à do betão armado.

Foi neste período também que a indústria cerâmica se virou para o tijolo vazado horizontalmente, de dimensões maiores que o tijolo maciço, ganhando alguma importância na construção de paredes não-estruturais. Este é o tipo de tijolo que ainda se usa muito nos dias de hoje em Portugal, tendo maior presença que nos outros países europeus, sobretudo do centro e Norte da Europa.

O atraso na uniformização e estandardização dos formatos e dimensões dos tijolos comprometeu a própria tecnologia e o seu desenvolvimento. O formato e dimensões das unidades eram diferentes entre a Alemanha, a Inglaterra, os Estados Unidos da América, etc. Por outro lado, apenas na década de 1960 foi ultrapassada a falta de um regulamento unificado para o cálculo de estruturas em alvenaria. Por esta altura já as alvenarias para estruturas tinham uma presença quase insignificante na maioria dos países europeus.

O rendimento de construção era primordial nesta fase de reconstrução da Europa, sendo que os novos materiais para estruturas, o betão armado e o aço, apresentavam vantagens óbvias em relação a outros sistemas construtivos. Foi neste contexto que se desenvolveram sistemas baseados na prefabricação, sobretudo em países como os Estados Unidos. Foi também neste contexto de recessão do uso das alvenarias estruturais que a indústria cerâmica procurou novas soluções, de

forma a actualizar-se e recuperar uma cota no mercado da construção que perdera a favor de outros sistemas construtivos.

Nesta procura de novas soluções para alvenaria estrutural, um dos maiores passos foi dado em 1958 na Suécia, com o primeiro aligeiramento da pasta crua e cozida para unidades cerâmicas. Desta forma foi possível um aumento dimensional das unidades, não comprometendo a sua resistência mecânica, continuando a ser possível a manipulação das unidades pelo operário em obra devido ao controlo do seu peso. A patente dos novos “blocos”, e já não “tijolos”, seria registada na Europa e nos Estados Unidos em 1961.

Na primeira patente de blocos aligeirados, foram estabelecidos componentes e respectivas dosagens para o fabrico da pasta. O principal material de aligeiramento referenciado foi o poliestireno expandido, na forma de esferas com diâmetro entre 0,5 e 10 mm, embora fossem referenciadas outras hipóteses, como por exemplo serradura, poeira de carvão, cortiça e alguns plásticos. Esta primeira patente esteve na base dos desenvolvimentos posteriores da tecnologia de fabrico deste tipo de blocos, sendo que alguns dos materiais recomendados para o aligeiramento da pasta correspondem aos que têm maior utilização no fabrico actual de blocos cerâmicos.

Passados onze anos do registo da primeira patente, nasce também o primeiro consórcio de industriais alemães, com o objectivo de desenvolver a tecnologia de fabrico dos blocos e sua posterior comercialização. O clima rigoroso que se faz sentir na época de inverno na Alemanha conduzia a uma procura de soluções para paredes exteriores que regulassem o ambiente interior dos edifícios, favorecendo uma certa abertura para a introdução no mercado da construção dos blocos aligeirados.

Ao mesmo tempo que se faziam experiências com as pastas cerâmicas aligeiradas para os blocos, faziam-se também com vários tipos de betões, celulares ou aligeirados, no sentido de se procurar alternativas com melhores desempenhos. Até aos nossos dias a maior evolução de blocos para alvenaria estrutural deu-se nos blocos cerâmicos, sendo que os blocos de betão leve continuam a ter na Europa uma produção muito reduzida, orientando-se sobretudo para outros tipos de aplicação.

O primeiro bloco cerâmico aligeirado para alvenaria estrutural, desenvolvido pela indústria com base em parcerias entre o consórcio criado na Alemanha, unidades de investigação universitárias e laboratórios independentes de ensaios, tinha uma geometria muito regular e simples, ainda sem sistema de encaixe e com uma malha ortogonal de septos verticais ainda relativamente espessos. Este bloco tinha as dimensões de 30 x 24 x 24 cm, sendo a dimensão maior de 30 cm correspondente à dimensão perpendicular à parede e, portanto, ao fluxo de calor entre interior e exterior. O instituto de normalização e standardização alemão (DIN) acompanhou o

desenvolvimento destes blocos, tendo posteriormente desenvolvido legislação aplicável, com base nas exigências que já existiam para alvenarias de tijolo e de outros materiais.

3.5. Da década de 1970 à actualidade

A constituição de consórcios de fabricantes de blocos cerâmicos aligeirados expande-se gradualmente por toda a Europa, primeiro para Itália, depois Áustria, França, etc. Em Itália os consórcios vêm-se distanciar dos outros europeus, devido a uma regulamentação muito exigente ao nível do comportamento anti-sísmico. Na Áustria, a *Wienerberger*, actualmente uma das maiores produtoras de blocos cerâmicos do mundo, aderiu ao fabrico destas novas unidades para alvenaria estrutural.

Apenas em 1977 é que surgem os primeiros blocos com sistema de encaixe, ficando com o nome técnico “Tipo-W”, e servindo de base à elaboração de normas alemãs DIN. O sistema de encaixe vinha responder a preocupações que diziam respeito ao comportamento anti-sísmico das alvenarias estruturais, cada vez mais impostas pelo cálculo específico deste tipo de estruturas, assim como às preocupações com a facilidade de execução e de assentamento, ou da produtividade das obras. O objectivo principal destas evoluções era a melhoria da tecnologia no sentido de recuperar um pouco da posição que tinha anteriormente, antes das estruturas de betão armado se terem generalizado.

Na década de 1980 o fabrico de blocos aligeirados para alvenaria estrutural começava a expandir-se para além do centro da Europa. A crise energética despoleta as preocupações ao nível do consumo energético na indústria da construção, e a CEE avança para a harmonização de normas relativas aos produtos de construção e para a sua standardização.

Este período é marcado pela grande investigação e desenvolvimento dos produtos para alvenaria estrutural. Assiste-se a mudanças na configuração das furações, dos septos interiores, da geometria dos encaixes verticais, ou por exemplo da maquinaria e forma de extrusão das pastas [Figura 11]. É nesta fase também que surgem as primeiras peças complementares à unidade base da alvenaria, correspondendo ao início da concepção dos sistemas integrados de alvenaria, enquanto conjuntos de componentes que permitem resolver as diversas situações tipo de uma construção.

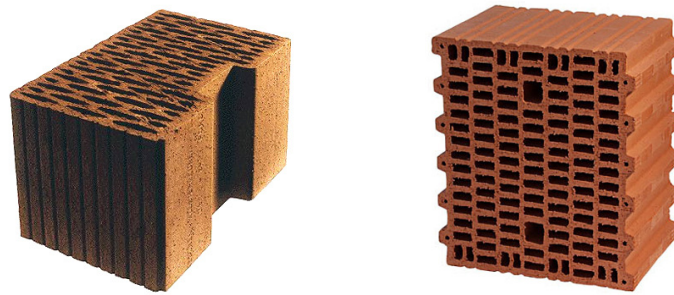


Figura 11: *Poroton Tipo-E* (1984), *Poroton Blockziegel-T* (1986) (fonte: *Poroton* [86])

Esta evolução ao nível da geometria e desempenho dos blocos é acompanhada pela evolução ao nível da maquinaria e processos de fabrico, aumentando o grau de automatização e produtividade nas unidades industriais. As alvenarias estruturais recuperam gradualmente alguma presença em países onde a indústria da construção se nivela por níveis mais elevados de exigência e rigor, como é o caso dos países do centro da Europa.

Com a globalização e a abertura dos mercados internacionais em foco, a década de 1990 é marcada na Europa por uma grande aproximação entre países, ao nível de trocas de produtos e serviços, mas também de tecnologias, fusões de empresas, etc. São criados mecanismos para que essa circulação de produtos entre países possa ser facilitada, ao mesmo tempo que se criam regras comuns não só para a produção, mas também por exemplo para o cálculo de estruturas. Neste período são elaborados os Eurocódigos estruturais, no sentido de harmonizar o cálculo de estruturas dentro da União Europeia.

Outros avanços importantes para a rentabilidade e fiabilidade (e até credibilidade junto dos agentes da construção) destes sistemas de alvenaria estrutural deram-se neste período, como por exemplo o surgimento das primeiras unidades rectificadas. As unidades rectificadas, também conhecidas como blocos planos, permitiram reduzir a espessura da junta horizontal entre fiadas da alvenaria, facilitando a execução em obra e melhorando o desempenho térmico da alvenaria. Outro desenvolvimento que surgiu nesta fase foi a melhoria do comportamento térmico dos blocos pelo desfasamento dos septos interiores transversais, criando um caminho não linear para a propagação do calor entre o exterior e o interior [Figura 12].

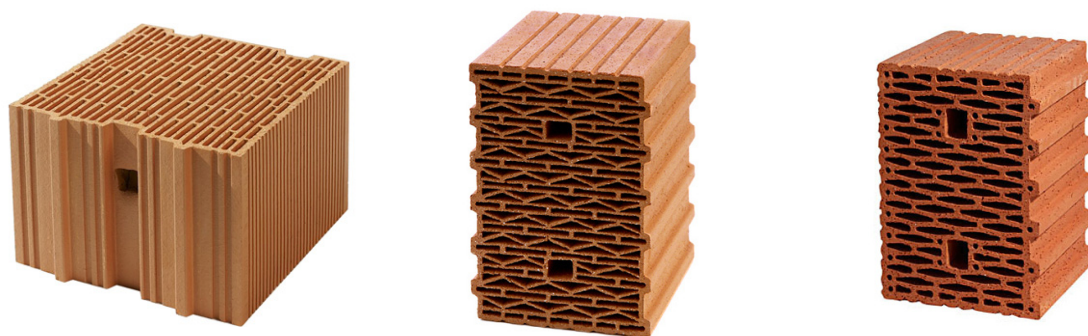


Figura 12: *Monomur 30, ThermoBlock T12, Eckziegel 30* (fontes: *Monomur* [81], *Zeller Poroton* [96])

As exigências ao nível do comportamento térmico dos edifícios começam a fazer-se sentir cada vez com maior intensidade, e as alvenarias com blocos aligeirados vão garantindo progressivamente melhores desempenhos. As unidades chegam a atingir os 50 cm de espessura na parede, obtendo-se valores muito baixos dos coeficientes de transmissão térmica “U”. Os países com maior desenvolvimento desta indústria eram por esta altura a Alemanha, a Itália e a Áustria. Sobretudo nestes países, foram desenvolvidos múltiplos exemplos de geometrias dos blocos, com o objectivo de melhorar o desempenho dos blocos sem lhes aumentar as dimensões e peso.

No início da década de 2000 desenvolveram-se geometrias altamente complexas dos septos interiores dos blocos, criando barreiras à transferência de calor entre exterior e interior, obtendo-se assim os melhores resultados térmicos de sempre em blocos vazados de furação vertical. Os valores de condutibilidade térmica equivalente chegaram aos 0,12 W/m.°C, e os coeficientes de transmissão térmica “U” das alvenarias aos 0,36 W/m².°C.

Ao nível da pasta crua, ou do material cerâmico resultante, não existirão grandes evoluções até aos nossos dias, sendo que já se tinham atingido massas volúmicas de cerca de metade da cerâmica convencional (não aligeirada). Após as experiências ao nível da optimização da geometria dos septos interiores, apenas se voltou a conseguir reduzir ainda mais a transferência térmica através do preenchimento dos vazios verticais dos blocos (furação) com materiais isolantes, o que veio a acontecer apenas nos últimos anos. Esta é a última grande inovação e tem originado resultados muito satisfatórios.

Grande parte das evoluções à tecnologia tem surgido sobretudo na Alemanha, estando-se já neste momento a comercializar alguns blocos inovadores com materiais isolantes na furação vertical [Figura 13]. Estes materiais isolantes são sobretudo a perlite ou a lã mineral, e permitem que os blocos atinjam valores do coeficiente de transmissão térmica “U” na ordem dos 0,25 W/m².°C (para espessuras de 30 cm). Para maior isolamento térmico, estão inclusivamente em comercialização unidades de alvenaria de maior espessura (até aos 49 cm), cujos coeficientes “U” chegam a alcançar

valores tão baixos quanto $0,16 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$. Estes são desempenhos térmicos nunca antes atingidos em blocos para alvenaria, não comprometendo as exigências relativas à reacção ao fogo, à estabilidade e à estanquidade à água das alvenarias estruturais.

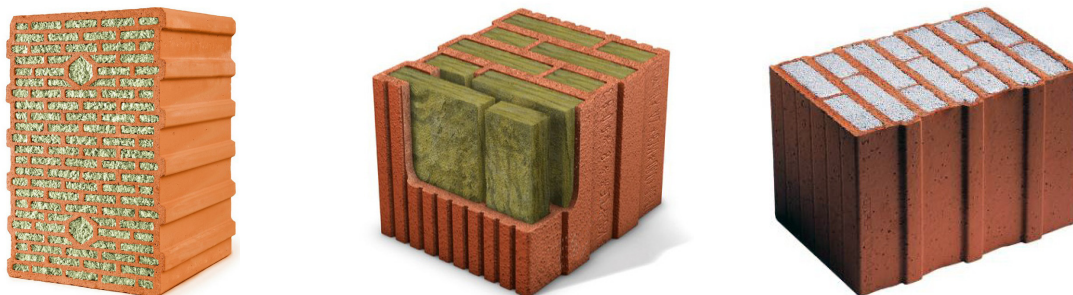


Figura 13: *Unipor W08 Coriso*, *ThermoPlan MZ8* e *Poroton T9* (fontes: *Unipor* [94], *Poroton* [86])

3.6. Projecto de Investigação “OTMAPS”

O Projecto de Investigação “OTMAPS” (Optimização Térmica e Mecânica de um Sistema de Alvenaria em Pano Simples) [23], que decorreu entre os anos de 2007 e 2008, resultou de uma parceria público-privada entre a AdI (Agência de Inovação), o IC/FEUP (Instituto da Construção da FEUP) e a Maxit-Portugal. Este projecto de investigação tinha por objectivo o desenvolvimento de um sistema de alvenaria estrutural (simples, armada ou confinada) em pano simples, constituído por peças base e complementares em betão de agregados leves (argila expandida). Alguns dos desenhos que se apresentam nesta parte do trabalho para descrever o sistema foram desenvolvidos pelo autor no âmbito do referido projecto de investigação.

O enquadramento regulamentar a que as unidades e o sistema de alvenaria deveriam responder era essencialmente composto, a nível nacional, pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE [62]), e a nível europeu (CEN) pelos Eurocódigos Estruturais EC6 (Projecto de Estruturas de Alvenaria) [46] e EC8 (Disposições para Projecto de Estruturas Sismo-resistentes) [48].

A Maxit-Portugal, então fabricante de prefabricados em betão leve, pretendia adaptar-se ao novo enquadramento regulamentar, uma vez que o aumento de exigências ao nível do comportamento térmico “desenquadrava” os seus produtos de alvenaria destinados à utilização em paredes simples (sem necessidade de utilização de isolamentos térmicos adicionais). O sistema de alvenaria “IsolBloco”, cuja produção foi descontinuada, era constituído pela peça base mais algumas peças complementares, que o tornavam um sistema relativamente completo [Quadro I e Figura 14]. O

coeficiente de transmissão térmica “U” da peça base do sistema, com revestimentos de reboco pelo interior e exterior, era de aproximadamente $0,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, não respeitando o valor máximo definido no novo RCCTE [62] para qualquer das Zonas Climáticas de Inverno.

Quadro I: Peças do sistema de alvenaria “IsolBloco” (fonte: Maxit-Portugal [80])

Peças do sistema	Dimensões (c x l x a) (cm)	Imagens	
Peça normal	40 x 32 x 19		
Meio comprimento	20 x 32 x 19		
Meia altura	40 x 32 x 9		
Meio remate liso	20 x 32 x 19		
Remate liso	40 x 32 x 19		
Estore	20 x 32 x 39		
Forra térmica	20 x 5 x 19		

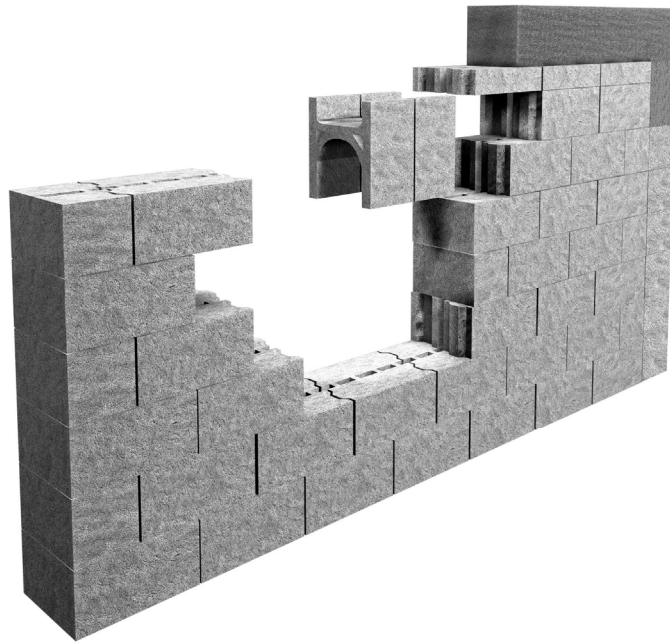


Figura 14: Montagem do sistema de alvenaria “IsolBloco” (fonte: Maxit-Portugal [80])

A unidade (com a posterior denominação comercial de bloco “Conforto”) e sistema de alvenaria desenvolvidos no projecto “OTMAPS”, deveriam satisfazer um conjunto de requisitos funcionais aplicáveis a paredes exteriores, como por exemplo a resistência mecânica e estabilidade, a segurança ao fogo, o conforto térmico e acústico, a estanquidade à água da chuva, entre outros. Desta forma, foi imposto um conjunto de requisitos para o desenvolvimento das unidades e sistema de alvenaria, definidos em regulamentos, normas e em bibliografia de referência, como por exemplo os requisitos associados às dimensões, percentagem de furação, ou massa volúmica do bloco. Os parâmetros mais condicionantes e respectivos regulamentos ou normas foram os seguintes:

- coeficiente de transmissão térmica “U” $\leq 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (RCCTE [62]);
- massa volúmica $1000 \leq \gamma \leq 1150 \text{ kg/m}^3$ (NP EN 1745 [57]);
- resistência mecânica do bloco à compressão simples $f_b \geq 3 \text{ N/mm}^2$ (Anexo Nacional do Eurocódigo 8 [59]);
- percentagem de furação (p_f) e espessura dos septos do bloco (e_s) $25\% \leq p_f \leq 60\%$ com $e_s \geq 18 \text{ mm}$ (EN 1996-1-1:2005 [46]);
- espessura mínima da parede $t_{\min} \geq 270 \text{ mm}$, por questões associadas à estanquidade à água da chuva face à condição de exposição expectável para as paredes (DTU 20.1 [43]);

- esbelteza da parede (razão entre a altura e a espessura efectiva da parede) $h/t \leq 10$ (alvenaria simples) e $h/t \leq 16$ (alvenaria armada e confinada) (Anexo nacional do Eurocódigo 8 [59]);
- peso máximo do bloco $P_{\text{máx}} \leq 20$ kg, prescrições mínimas de segurança e saúde na movimentação manual de cargas com carácter frequente (Decreto-lei nº 330/93 [42]).

Dentro destes parâmetros, a massa volúmica do bloco tinha particular importância, uma vez que da mesma dependiam a resistência térmica e mecânica da alvenaria - a massas volúmicas mais baixas correspondem resistências térmicas superiores e, inversamente, a resistências mecânicas inferiores. Uma vez que o bloco tinha por objectivo a execução de alvenarias simples em paredes exteriores, com funções estruturais, seria necessário encontrar um compromisso entre a resistência mecânica do bloco e a resistência térmica do conjunto da parede (considerando revestimentos interior e exterior em reboco).

O betão de agregado leves, com grânulos de argila expandida (produto vulgarmente conhecido como LECA - *Light Expanded Clay Aggregate*), reduz a eficácia da parede em termos da sua estanquidade à água. No entanto, a elevada espessura dos blocos, associada à contribuição dos revestimentos, garantem só por si a estanquidade necessária.

No processo de optimização numérica desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, ao nível do comportamento térmico da parede, considerou-se a influência de juntas de assentamento descontínuas [Figura 15], por permitirem uma maior resistência térmica da parede (sem prejudicarem excessivamente o comportamento mecânico do conjunto). As juntas de assentamento descontínuas permitem criar também uma barreira a possíveis infiltrações de água, contribuindo para a estanquidade à água da parede.

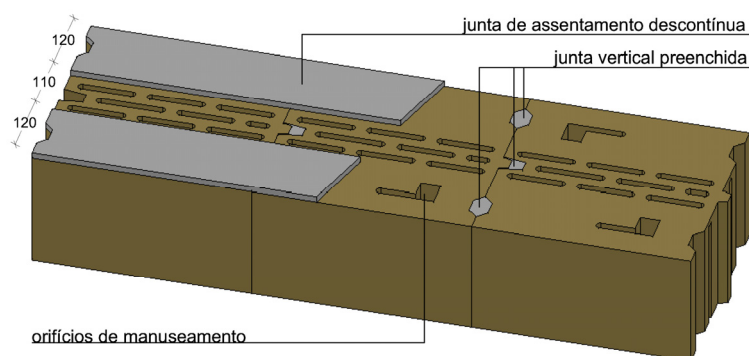


Figura 15: Junta de assentamento descontinua e junta vertical preenchida

Para as juntas verticais das unidades de alvenaria foi pensado um sistema de encaixe macho-fêmea, tendo por objectivo reduzir (ou anular, dependendo do comportamento mecânico exigido à parede) a necessidade de preenchimento da junta com argamassa, assim como facilitar a colocação das unidades na execução da alvenaria (aumentando o ritmo de assentamento e, assim, a produtividade em obra). Para aplicação em alvenaria estrutural, o sistema de encaixe vertical dos blocos dispõem de duas bolsas para o preenchimento com argamassa, observando a dimensão mínima deste preenchimento definido no Eurocódigo 6 [46] (mínimo de 40% da largura total do bloco).

Como resultado de todas as exigências descritas, o bloco foi pensado com furação vertical (comportamento mecânico) e dimensões de 35x35x19 cm (comp. x larg. x alt.) [Figura 16]. A superfície superior do bloco apresenta dois canais laterais com orifícios fechados para dispor a argamassa de assentamento, deixando um canal livre ao centro para melhor comportamento térmico da parede. A percentagem de furação do bloco é de 26% e os septos têm uma espessura mínima de 18mm (EC6 [46]).

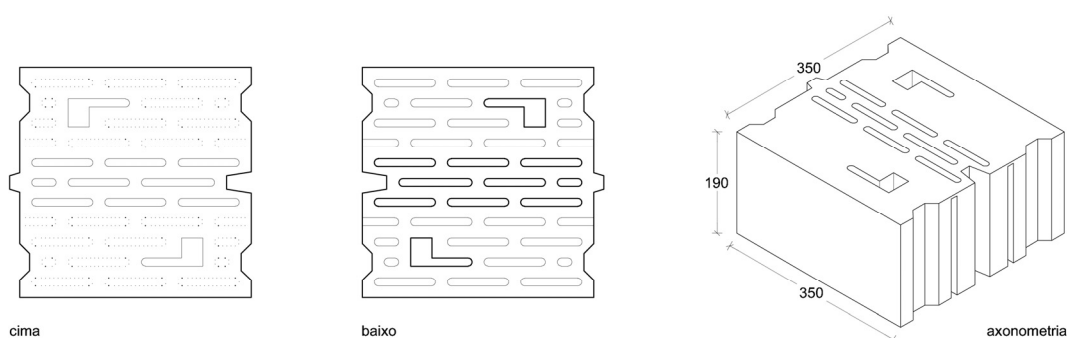


Figura 16: Configuração da peça base do sistema

Para um maior rendimento na execução da alvenaria, em cada bloco foram dispostos dois orifícios de manuseamento, colocados em diagonal. Estes orifícios têm igualmente a função de melhorar a ergonomia no trabalho de assentamento, um parâmetro importante dado o peso dos blocos e a intensidade do trabalho de assentamento da alvenaria.

Uma vez que a utilização de sistemas integrados de alvenaria em Portugal ainda é reduzida, no desenvolvimento do sistema procurou-se identificar quais as peças complementares à peça base mais importantes para o desenvolvimento inicial do sistema. Esta escolha adveio também da optimização do processo produtivo em fábrica, tentando-se concentrar num só molde de produção (pelo seu custo inicial, mas também para evitar a substituição de moldes na máquina de prensagem) as diferentes unidades de alvenaria [Figura 17]. A selecção de peças complementares que foi feita

inclui, para além de 7 peças base do sistema, 1 peça de topo liso e 1 peça especial com marca de corte. A peça especial, após o corte, permite formar 2 peças de meio comprimento com topos lisos.

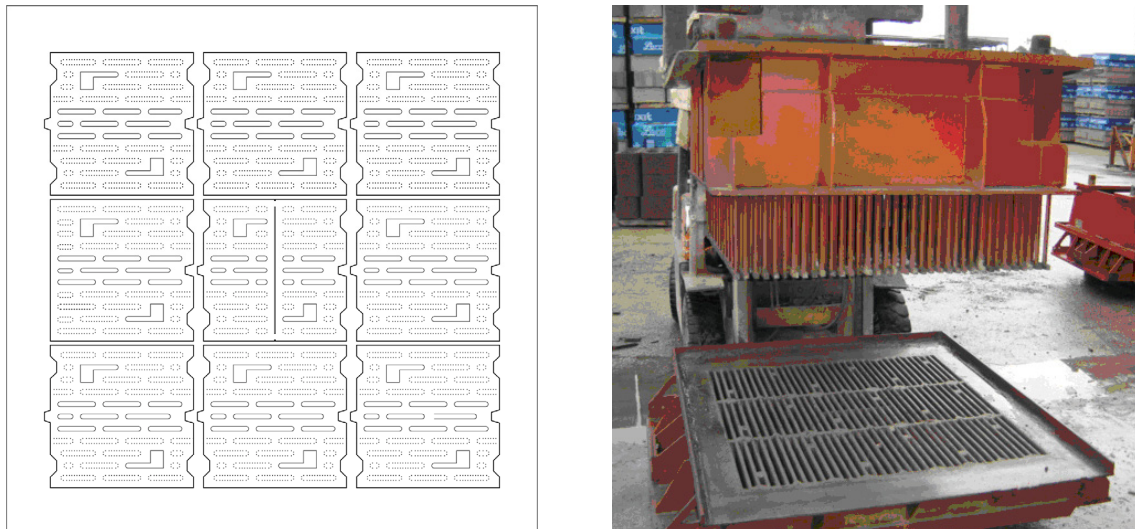


Figura 17: Molde industrial de 9 peças do sistema de alvenaria

As peças complementares escolhidas permitem executar alguns dos pontos singulares mais importantes em paredes de alvenaria, que são os remates na zona dos vãos, nos cunhais, ou por exemplo os encontros com paredes interiores. O contrafiamento entre fiadas de alvenaria nas zonas críticas da parede (p.ex. nos cunhais e na ligação entre paredes ortogonais) é tornado possível pela conjugação entre peças de meio comprimento e peças de topo liso [Figura 18].

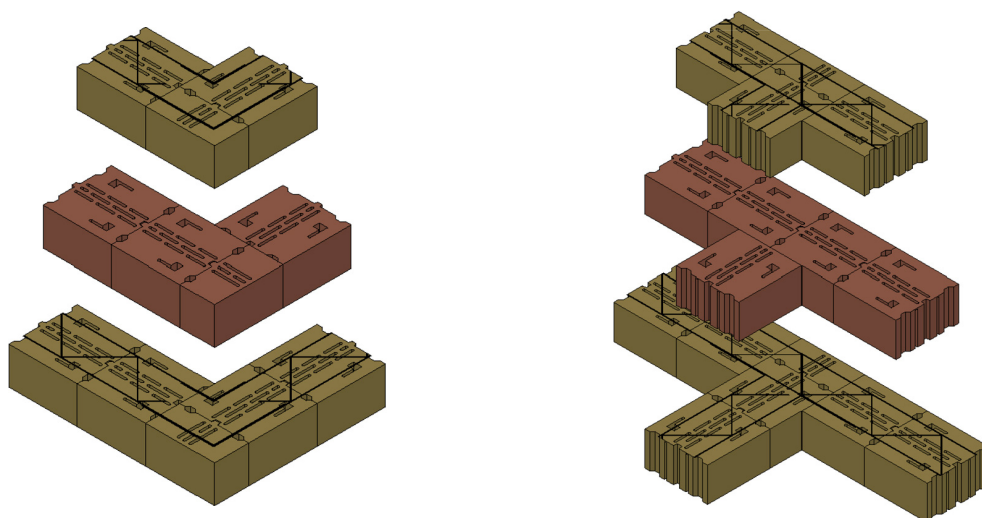


Figura 18: Cunhal e intersecção de paredes em alvenaria armada

As peças complementares do sistema, ao reduzirem substancialmente a necessidade de corte de unidades em obra, são essenciais para um maior rendimento no assentamento e para a redução de desperdício de material (exigência de economia e sustentabilidade). As peças complementares permitem reduzir também o imprevisto em obra, resultando numa maior qualidade construtiva da obra de alvenaria, já não tão dependente da qualidade da mão-de-obra que a executa.

Para além das principais peças complementares, que juntamente com a peça base do sistema compõem o molde industrial, previu-se a execução de forras térmicas com as próprias peças base do sistema, através do seu corte. Estas peças tanto podem resultar do corte de unidades de alvenaria em obra, como podem ser disponibilizadas pelo fabricante, através por exemplo do reaproveitamento de peças com defeito de fabrico. Para a peça de estore, que ajuda a completar o sistema, previu-se a utilização de peças já anteriormente produzidas pelo fabricante, adaptadas à largura da alvenaria, ou a utilização de caixas de estore de outras empresas e materiais mais isolantes disponíveis no mercado.

Para uma fase posterior de desenvolvimento do sistema, após a implementação inicial no mercado da construção, ponderou-se a viabilidade de três peças complementares, concebidas de forma a garantir a sua maior abrangência em termos de utilização. Estas peças seriam uma peça de ajuste horizontal com três medidas possíveis (com marcas de corte), uma peça de meia altura ou ajuste vertical e uma peça para o confinamento da alvenaria (execução de montantes), também com possibilidade de subdivisão através do seu corte [Figura 19].

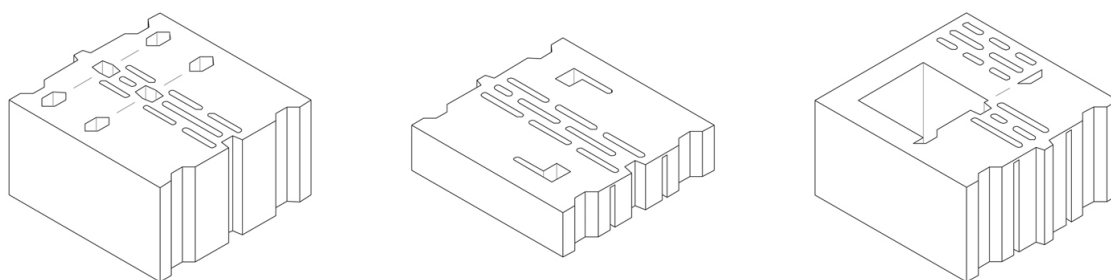


Figura 19: Peças complementares de ajuste horizontal e vertical, peça de confinamento

O sistema que foi idealizado para o início de produção, com apenas três peças distintas, em conjugação com outros produtos da Maxis-Portugal e de outros fabricantes, resolveria já grande parte das situações típicas da construção. Nas figuras que se seguem podem ser observadas duas possibilidades de execução do sistema, em alvenaria armada e confinada [Figura 20 e Figura 21].

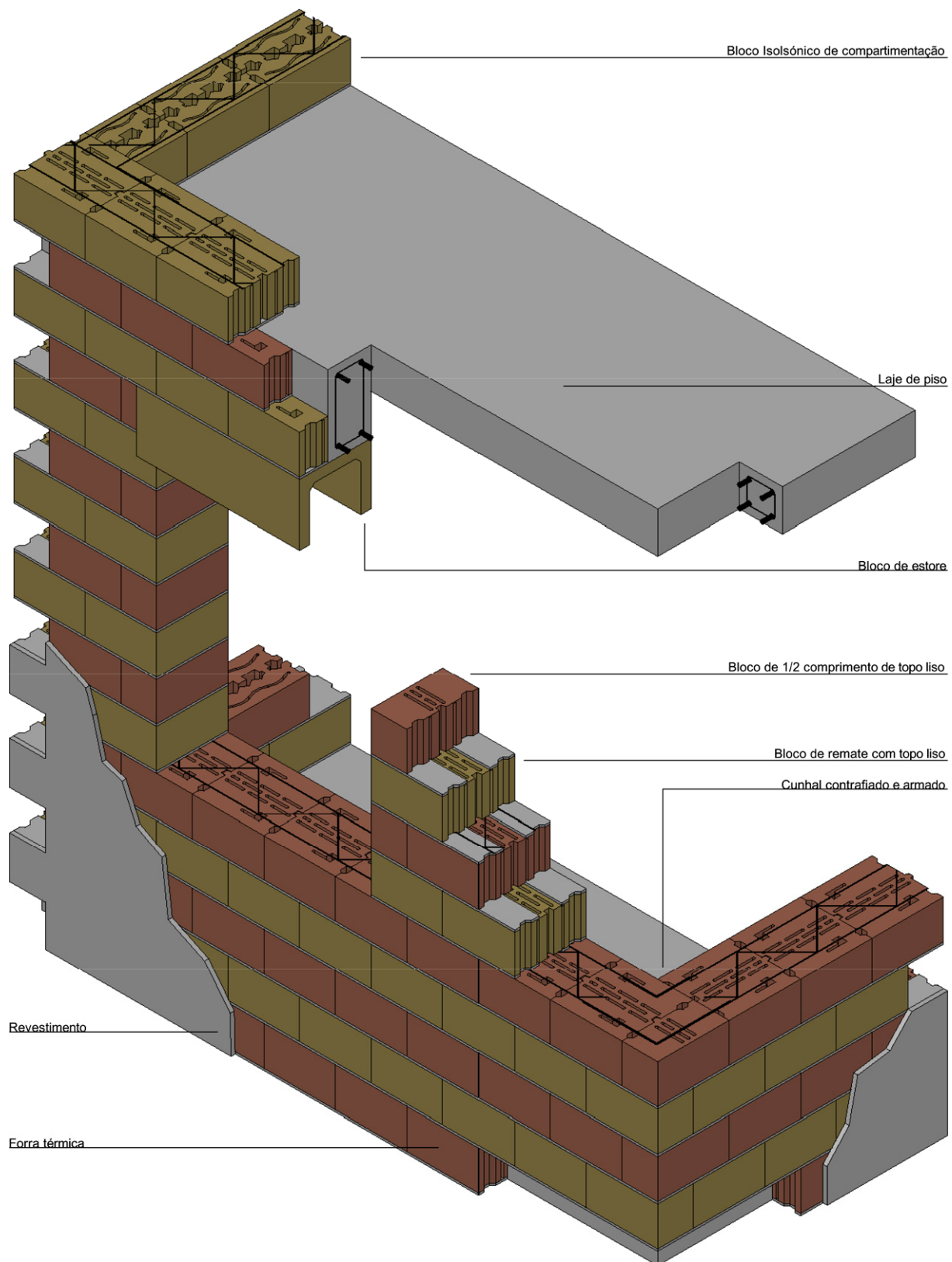


Figura 20: Sistema integrado de alvenaria - situações tipo em alvenaria armada

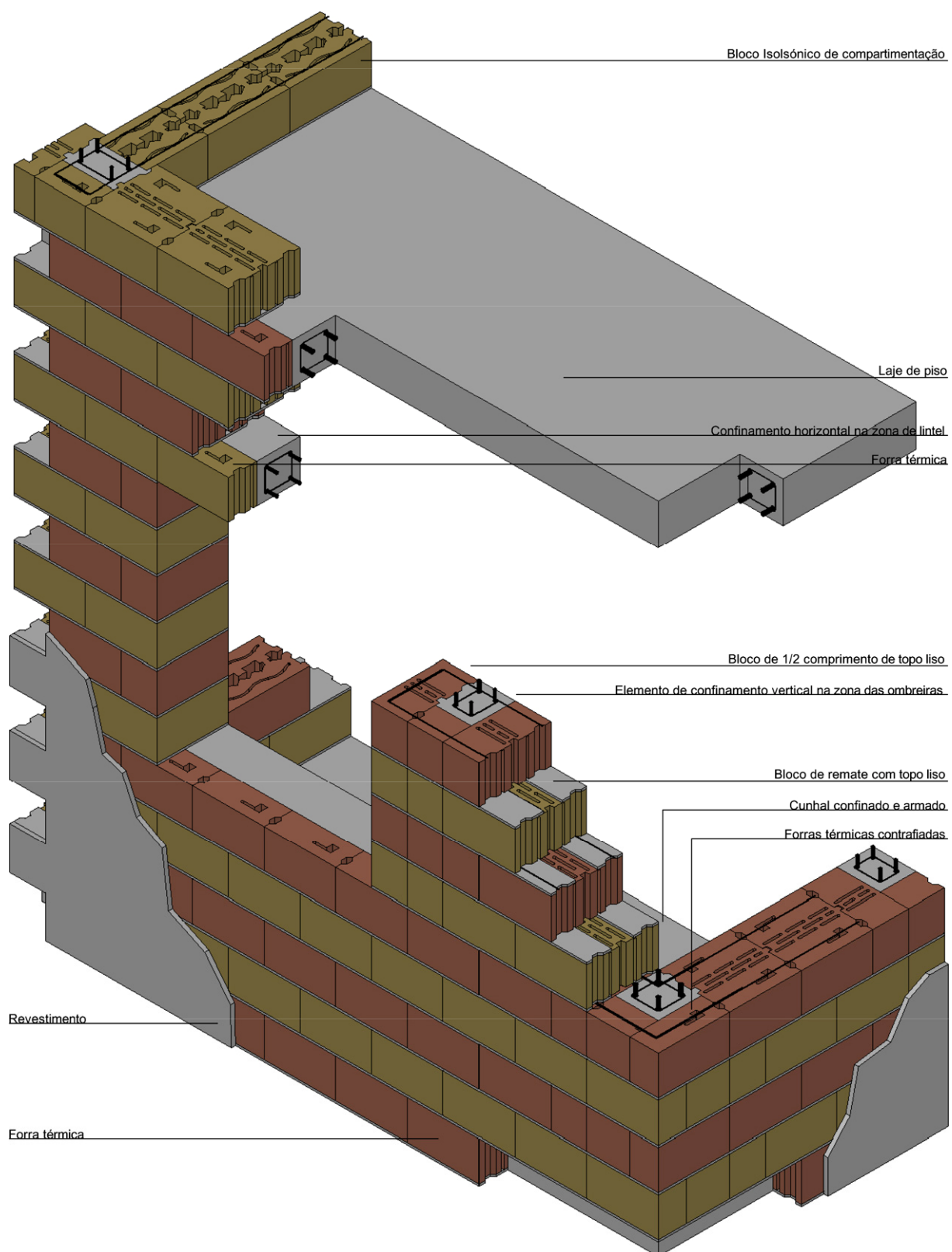


Figura 21: Sistema integrado de alvenaria - situações tipo em alvenaria confinada

CAPÍTULO IV: Sistemas construtivos de paredes de alvenaria

Neste capítulo do trabalho apresentam-se os diferentes elementos constituintes do sistema construtivo em alvenaria simples, armada ou confinada. Numa primeira parte refere-se a importância da utilização de um sistema integrado de alvenaria para a optimização destes sistemas construtivos, apresentando-se as diversas peças complementares à peça base do sistema. Ainda no que se refere à execução do “tosco” da parede, faz-se um enquadramento das argamassas de assentamento, assim como se mostram alguns utensílios para a execução das alvenarias, por forma a facilitar e rentabilizar o assentamento das suas unidades.

Posteriormente faz-se um enquadramento das exigências mais importantes aplicáveis aos revestimentos (interiores e exteriores) de paredes, enquanto elementos de acabamento do “tosco”. No entanto, como a grande maioria das exigências aplicáveis a paredes (com principal relevo nas de fachada) se refere ao conjunto do “tosco” mais revestimentos (enquanto elementos de um sistema que tem um comportamento de conjunto), numa última parte do capítulo faz-se uma síntese das exigências mais relevantes para a concepção e execução de paredes em alvenaria (“tosco” mais revestimentos). As exigências e disposições construtivas descritas nesta última parte incidem sobretudo nas paredes com funções estruturais e nas paredes exteriores de fachada.

4.1. “Tosco” da parede

As paredes de alvenaria poderão ser analisadas sob o ponto de vista da separação dos seus diferentes elementos constituintes, o “tosco” (designação corrente dada à constituição interior da parede) e seus revestimentos. O tosco de uma parede de alvenaria é assim constituído pelas unidades de alvenaria (tijolos ou blocos), dispostas em fiadas sobrepostas e solidarizadas pelo seu elemento de ligação (a argamassa), assim como por distintos elementos utilizados na execução dos pontos singulares de uma parede, como por exemplo elementos estruturais em betão armado, caixas de estore, entre outros.

A abordagem corrente ou “tradicional” da execução de alvenarias tem por base a utilização repetitiva de um mesmo tijolo ou bloco, recorrendo ao corte das unidades e a outro tipo de improvisos sempre que necessário. Esta é uma visão centrada apenas numa unidade de alvenaria e por conseguinte em formas de construir algo rudimentares, onde a industrialização e a mecanização dos processos construtivos ainda não está muito presente.

Os sistemas de alvenaria ditos “modernos” são sistemas pensados para uma maior optimização dos processos construtivos, permitindo simultaneamente obter melhor qualidade construtiva comparativamente às alvenarias “tradicionais”. Esta passagem traduz um aumento de exigências relativas à execução do tosco da parede, marcando também o início do desenvolvimento do projecto específico para a execução de paredes de alvenaria, até então inexistente. Nos sistemas ditos “modernos” a unidade de alvenaria (peça base) é complementada com outras unidades de diferentes formatos e utilizações (peças complementares).

4.1.1. Sistema integrado de alvenaria

A noção de sistema integrado de alvenaria pressupõe a ideia de um conjunto completo e coerente de peças e componentes para o projecto e execução da alvenaria. Com a concepção de sistemas integrados de alvenaria pretende-se reduzir ao máximo o imprevisto em obra, garantindo assim um bom planeamento e execução da mesma. Por outro lado, este tipo de solução é essencial para o bom desempenho global da alvenaria, garantindo o cumprimento das mais recentes exigências.

Resumidamente, poderão destacar-se as seguintes vantagens da utilização de um sistema integrado de alvenaria:

- facilidade de execução e redução do imprevisto em obra, contribuindo para o aumento da qualidade construtiva;
- aumento da produtividade e, logo, da economia de meios;
- vantagens económicas também na redução dos desperdícios com origem no corte de materiais;
- redução do número de diferentes materiais empregues e das encomendas necessárias;
- possibilidade de planeamento do tosco na fase de projecto, com óbvias vantagens na integração e adaptação às regras estabelecidas pela coordenação dimensional modular dos projectos de arquitectura e estruturas;
- facilidade de planeamento da obra, inclusivamente na estimativa de custos;
- melhor organização e limpeza do estaleiro;
- melhor desempenho da construção pela utilização de materiais e componentes previamente testados em conjunto.

A aceitação por parte dos projectistas (técnicos) e executantes (construtores) dos sistemas integrados de alvenaria dependerá da sua maior ou menor adaptabilidade às diferentes situações existentes numa obra. Do ponto de vista do projectista, o aumento de soluções para a execução dos diversos pontos singulares contribui para a liberdade de concepção (apontada muitas vezes como uma limitação das alvenarias resistentes), assim como para o controlo da qualidade construtiva em fase de projecto. Um correcto desenho e concepção dos pormenores construtivos de projecto torna-se possível pela utilização de peças específicas para cada utilização prevista.

Do ponto de vista do executante, o sistema facilita a montagem da alvenaria e a realização dos diferentes pontos singulares (que estão muitas vezes na origem de atrasos e erros em obra, originando patologias em fase de utilização). Deste modo reduz-se a dúvida (e o erro), tornando os processos mais simples e intuitivos, facilmente executados pela mão-de-obra cada vez menos experiente e qualificada da construção civil.

O estudo de soluções integradas para a construção do tosco implica a definição de uma lógica coerente de montagem e de compatibilização entre os diferentes sistemas e elementos da construção, desde paredes exteriores a paredes interiores, lajes de piso e de cobertura, revestimentos, caixilharias, etc. A coordenação entre todos estes elementos será essencial para o seu melhor desempenho e para a optimização da construção.

Os sistemas integrados de alvenaria destinam-se à realização de todas as paredes exteriores e/ou interiores de um edifício, com ou sem função resistente, sendo compreendidos normalmente por uma peça base (o bloco ou unidade de alvenaria) e algumas peças complementares (meio bloco, peça de remate, peça de lintel, etc.). Para além das unidades de alvenaria, o sistema poderá disponibilizar ainda materiais de junta, ou por exemplo utensílios para a execução da obra.

Existem vários tipos de sistemas de alvenaria nos mercados de construção europeus, mais ou menos completos, não se podendo reunir todas as suas variantes numa única fórmula, definida como a mais correcta. As principais diferenças detectadas são na tipologia (material, geometria e tipo de utilização a que se destina) da peça base do sistema, no número e abrangência das peças complementares e, por exemplo, na forma de colocação em obra.

A rentabilidade económica e comercial de um determinado sistema obriga a pensá-lo em termos de rentabilidade dos seus elementos, procurando que um reduzido número de peças e complementos permita resolver o maior número possível de situações particulares de uma obra. Este objectivo alcança-se pela concepção de peças multifuncionais, que poderão resolver simultaneamente mais de uma situação tipo. Um exemplo de unidade de alvenaria multifuncional, existente em alguns sistemas europeus, é a peça de ajuste horizontal com mais de uma marca de corte, que tanto poderá ser utilizada com a sua geometria original como subdividida em peças com diferentes comprimentos.

4.1.1.1. Peça base do sistema

As peças base dos sistemas têm variadíssimas tipologias, consoante o material com que são fabricados, a sua geometria e o tipo de aplicação a que se destinam. Ainda assim, estes blocos poderão dividir-se logo à partida segundo duas características principais: por um lado, a presença ou não de sistemas de encaixe nas juntas verticais, configurando ou não topos lisos, e, por outro, o tipo de acabamento das faces inferior e superior do bloco, distinguindo os blocos mais comuns dos blocos que são alisados nestas duas faces, denominados de blocos “rectificados”.

Os blocos sem encaixes verticais (com quatro faces lisas) destinam-se ao uso com juntas verticais argamassadas. Estes blocos, tendo uma colocação em obra mais difícil, são menos frequentes que os que têm sistema de encaixe vertical. Para além destes factores, o custo relativo à execução das juntas verticais argamassadas (mão-de-obra e custo do material) torna também esta solução menos interessante do que a solução de blocos com sistema de encaixe.

Em Itália, ao contrário dos restantes países europeus, a tipologia de blocos sem encaixes verticais predomina, para utilização em alvenaria estrutural, armada ou para-sísmica [Figura 22]. Durante muitos anos, a produção de blocos com encaixe em Itália foi dificultada pela existência de legislação anti-sísmica muito exigente, que obrigava ao preenchimento da totalidade da junta vertical, anulando as vantagens comerciais dos blocos com sistema de encaixe. Como resultado, quando foram comercializados blocos com encaixes, estes apresentavam uma expressão muito robusta, conferindo um comportamento mecânico às alvenarias muito superior ao habitual [20].



Figura 22: Unidades de alvenaria com e sem sistema de encaixe (fonte: *Poroton Itália* [85])

Os blocos com sistema de encaixe vertical apresentam muitas vantagens, apesar de, no caso dos blocos cerâmicos, terem um processo de fabrico com maiores restrições. Quando a extrusão dos blocos é feita no sentido horizontal, e dependendo do tipo de encaixes, a extrusão terá de ser feita

com uma das faces lisas do bloco para baixo [Figura 23]. Isto significa que os septos transversais dificilmente poderão ser desencontrados, sendo necessário garantir a estabilidade do bloco cru nessa posição. A existência de septos transversais que possibilitem este modo de extrusão reduz o desempenho térmico do bloco, pois estes septos são canais preferenciais para a transmissão de calor.



Figura 23: Experiência de extrusão de unidades cerâmicas com sistema de encaixe virado para baixo [8]

Poderão destacar-se as seguintes vantagens do sistema de encaixe vertical dos blocos de alvenaria: a possibilidade de execução de juntas verticais secas ou com pequenas bolsas de argamassa (reduzindo-se a mão-de-obra e a quantidade de argamassa necessária ao assentamento), assim como a facilidade de colocação dos blocos na sua posição correcta, aumentando globalmente a produtividade e qualidade de execução da alvenaria.

No entanto, a execução de juntas verticais secas está dependente das exigências relativas ao comportamento ao sismo da alvenaria. O Eurocódigo 8 [48], para projecto de estruturas com resistência ao sismo, é muito exigente quanto ao uso de juntas macheadas não preenchidas, referindo que as mesmas deverão ter uma resistência ao corte pelo menos igual à de uma junta preenchida. Por outro lado, no Eurocódigo 6 [46], para projecto geral de estruturas de alvenaria, refere-se que no caso de unidades com bolsas de argamassa na junta vertical, uma junta é considerada preenchida quando argamassada na sua altura total e em pelo menos 40% da sua largura total. Não existindo estas bolsas de argamassa, o cumprimento dos Eurocódigos estruturais obrigará a um perfil dos sistemas de encaixe muito robusto.

Outra característica dos blocos que faz variar consideravelmente o tipo de aplicação é o serem rectificadas ou não. Os blocos rectificadas, também conhecidos como “blocos planos”, são unidades de alvenaria que no processo de fabrico são sujeitos a um corte rectificador, conferindo-lhes uma grande precisão na planura das faces superior e inferior, além de um maior rigor na altura do bloco.

Desta forma, a tolerância dimensional do bloco na dimensão altura reduz-se consideravelmente, permitindo a utilização de argamassas cola para juntas delgadas.

Uma vez que a legislação europeia não faz referência aos valores de tolerâncias de fabrico especificamente para este tipo de blocos rectificados, poderá referir-se, com base em certificações do D.I.B.T. (Instituto Alemão de Tecnologias da Construção), uma variação admissível de planura em cada uma das faces de 0,1mm, sendo que o seu paralelismo deverá cumprir a tolerância máxima de 1,0mm [20]. Estes blocos têm a particularidade da sua dimensão altura (como no caso do comprimento quando com juntas verticais macheadas), aproximar-se da medida de coordenação vertical, ou seja, em vez do bloco ter 19,0cm de altura (para dimensão de coordenação de 20,0cm com junta argamassada de 1,0cm), passa a ter aproximadamente 19,7cm para a realização de juntas de 3,0mm.

A utilização dos blocos rectificados permite obter ligeiras melhorias do comportamento da alvenaria, quando comparado com a aplicação de junta horizontal de argamassa descontínua, nomeadamente na resistência média à compressão e no desempenho térmico da parede. Mas a principal vantagem destes blocos reside na sua colocação em obra, permitindo obter melhorias consideráveis na economia e produtividade da obra do tosco. O tempo de execução diminui (pois o espalhamento da argamassa cola é muito mais rápido), assim como se reduz a mão-de-obra e a quantidade de material de junta necessárias ao assentamento da alvenaria.

Apesar das vantagens descritas, a utilização de blocos rectificados obriga a maiores exigências, não só na produção do bloco em fábrica como também na sua colocação em obra, com tolerâncias de assentamento muito apertadas. O maior custo de produção e comercialização dos blocos compromete a sua utilização, uma vez que os potenciais ganhos em produtividade são geralmente considerados insuficientes para compensar o incremento de custo de material.

Por outro lado, a mão-de-obra desqualificada na construção civil é também vista muitas vezes como um impeditivo para a utilização de blocos rectificados. A utilização destes blocos verifica-se sobretudo na Alemanha e na Áustria (onde a produção industrial e as tecnologias de construção encontram-se mais evoluídas), muito embora em número ainda muito inferior à utilização de blocos não rectificados.

4.1.1.2. Peças complementares do sistema

As peças complementares dos sistemas integrados de alvenaria têm os seguintes objectivos principais:

- resolução dos pontos singulares mais comuns (lintéis, cunhais, intersecções de paredes, etc.);
- flexibilidade e qualidade construtiva e arquitectónica;
- economia e produtividade na obra do tosco;
- redução da necessidade de corte de blocos em obra, reduzindo também os desperdícios;
- execução de paredes interiores de compartimentação (resistentes ou não), integradas de forma correcta no restante sistema de alvenaria;
- planeamento dos espaços necessários para canalização e tubagem, evitando a abertura de roços;
- integração de elementos de confinamento em betão armado (cintas e montantes) para reforço da estrutura, evitando a necessidade de cofragem da estrutura de betão;
- execução de pormenores construtivos mais detalhados, com recurso a peças específicas.

No surgimento e concepção dos primeiros sistemas integrados de alvenaria, durante a década de 1980, os consórcios e fabricantes associaram-se a projectistas e construtores para o estudo de peças complementares dos sistemas, de forma a responder às principais necessidades identificadas na realização deste tipo de alvenarias. Inicialmente surgiram as peças de ajuste horizontal (meio comprimento) e vertical (meia altura), dando origem mais tarde a novas medidas que correspondiam à subdivisão do comprimento da peça base. Progressivamente foram surgindo outras peças complementares, adaptadas aos vários pontos singulares existentes numa parede de alvenaria.

4.1.1.2.1. Peças de ajuste horizontal e vertical

A peça de ajuste horizontal que corresponde a meio bloco de comprimento é particularmente importante para o acerto da alvenaria nos seus remates, como resultado do desfasamento entre fiadas que garante um melhor desempenho da alvenaria. No Eurocódigo 6 [46] referem-se valores mínimos de desfasamento entre juntas verticais (dependendo da altura do bloco), admitindo no entanto o não cumprimento desta regra, desde que a experiência ou resultados de ensaios mostrem que o comportamento da alvenaria com juntas menos distanciadas é satisfatório.

Alguns sistemas dispõem de peças de ajuste horizontal para acerto a quaisquer medidas não modulares, permitindo por exemplo corrigir desvios de colocação que ocorram. Estas peças, também conhecidas por “unidades ajustáveis”, têm numa das faces uma distribuição de septos em forma de pente (com disposição assimétrica) que permite um encaixe correcto entre peças [Figura 24]. A sua utilização será uma excepção na alvenaria pois representa um ponto frágil no desempenho da mesma.

Mais comum será a existência de blocos parecidos com a peça base do sistema, nos quais existem marcas de corte que possibilitam a fácil subdivisão do bloco em obra, não requerendo o uso de serra eléctrica para o efeito. Estes blocos podem inclusivamente ser utilizados com a sua geometria original, apresentando neste caso uma ligeira diminuição dos seus desempenhos (sobretudo a nível térmico).



Figura 24: Blocos de meio comprimento, de dimensão ajustável e com marca de corte (fontes: *Monomur* [81], *ThermoPlan* [83])

A peça de ajuste vertical, embora menos utilizada, permite em determinadas situações o ajuste da alvenaria à dimensão do pé-direito desejado, ou noutros casos o ajuste dos vãos à coordenação modular vertical. Esta peça é menos comum, sendo que muitos dos sistemas não a disponibilizam, partindo do princípio que o projectista concebe o edifício atendendo à medida de coordenação vertical da peça base.

4.1.1.2.2. Peças de remate

As peças de remate são normalmente blocos com três dos topos lisos e um macheado. Esta peça permite realizar remates lisos da alvenaria, úteis para a execução de vãos ou, por exemplo, de cunhais. Alguns sistemas têm mais do que uma peça de remate, com comprimentos equivalentes ao comprimento total e a meio comprimento da peça base do sistema. A utilização destas duas medidas permite o desfasamento das juntas verticais entre fiadas na zona dos remates, melhorando assim o

seu desempenho mecânico. O mesmo tipo de utilização pode ser feita na execução de cunhais e de intersecções entre paredes, em alvenaria simples ou armada, distribuindo as diferentes peças de remate de modo a garantir o correcto contrafiamento das fiadas nessas zonas de grande concentração de esforços [Figura 25].

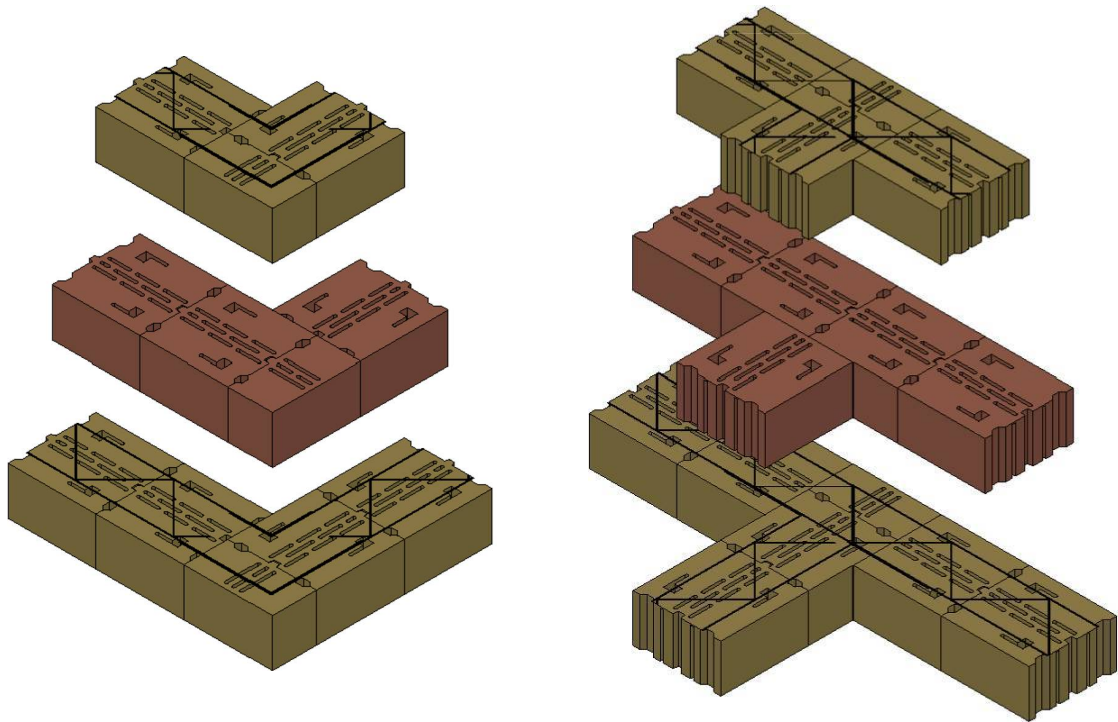


Figura 25: Esquemas de montagem de cunhal contrafiado e intersecção entre paredes em alvenaria armada

4.1.1.2.3. Peças de ângulo e de esquina

Alguns sistemas de alvenaria disponibilizam ainda peças de ângulo e de esquina. As peças de ângulo são normalmente de 30° e 45°, e as de esquina têm encaixes em faces perpendiculares do bloco (ângulo de 90°). Estas peças permitem executar com maior rigor e rapidez as situações de ângulo, embora a sua utilização não seja muito frequente. As peças de esquina são normalmente substituídas pela utilização de peças de remate dispostas alternadamente nos dois sentidos entre fiadas, e no caso de ângulos diferentes é habitual a adaptação de peças base cortadas em obra.

Existe ainda a possibilidade de execução de ângulos com peças de geometrias mais complexas, como por exemplo peças com dimensões da peça base nas quais existem pequenas partes destacáveis em obra [Figura 26]. O sistema francês “Monomur” disponibiliza um bloco em que a parte

destacável apresenta uma secção circular, tornando possível a realização de ângulos menos correntes [Figura 27].



Figura 26: Peça com possibilidade de corte para realização de ângulo de 45° (fonte: *Monomur* [81])

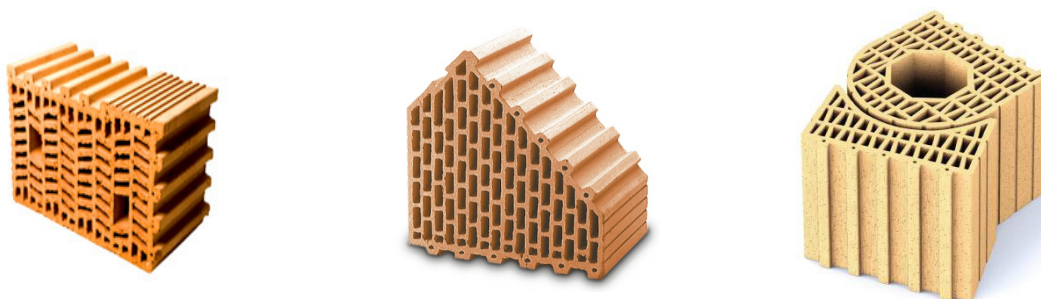


Figura 27: Peças de ângulo de 90°, de 45°, e multi-ângulo (fontes: *Termoarcilla* [91], *ThermoPlan* [83], *Monomur* [81])

4.1.1.2.4. Peças de lintel

Um dos pontos singulares mais críticos na execução das alvenarias é a zona do lintel, podendo-se destacar os seguintes problemas: a necessidade de escoramento para disposição das peças de lintel e execução do elemento estrutural em betão armado, e a dificuldade em isolar termicamente esta zona devido ao maior coeficiente de transmissão térmica do betão armado. Os sistemas existentes apresentam algumas soluções diferentes para este ponto singular, por vezes utilizando elementos externos ao próprio sistema.

Actualmente, o RCCTE [62] estabelece um valor máximo para o coeficiente de transmissão térmica “U” em zona de ponte térmica plana, como é o caso do lintel quando reforçado por elementos estrutural em betão armado. Para o cumprimento desta exigência do RCCTE, e atendendo às dimensões correntes dos elementos de confinamento em betão armado, a aplicação de isolantes térmicos na zona do lintel será quase inevitável.

A peça de lintel prefabricada poderá incluir isolantes (como p.ex. espumas plásticas do tipo poliestireno expandido ou extrudido, ou lãs minerais) na zona destinada a ser colocada pelo lado exterior da parede, ou alternativamente ser concebida com espaço suficiente para a inclusão posterior dos isolantes em obra (antes da betonagem do elemento de confinamento) [Figura 28]. Alguns fabricantes disponibilizam ainda soluções para a execução dos elementos estruturais com materiais mais isolantes que o betão corrente [Figura 29].

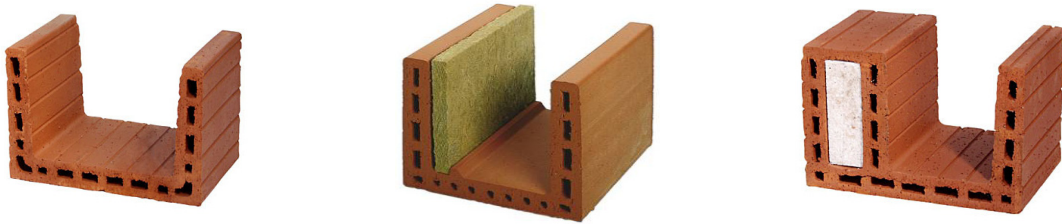


Figura 28: Peças de lintel sem isolante, com isolante a colocar em obra e com isolante incorporado (fonte: *Zeller Poroton* [96])

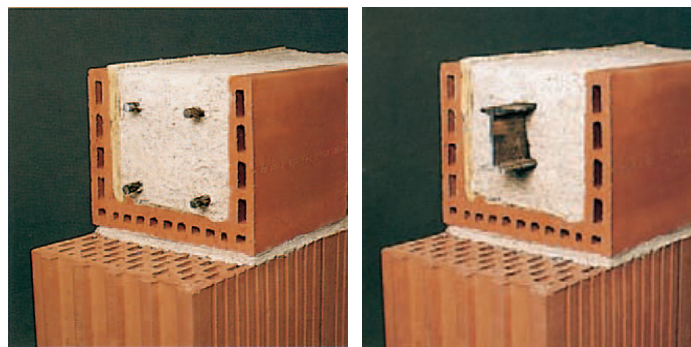


Figura 29: Elementos de confinamento com material mais isolante que o betão corrente (fonte: *Wienerberger* [95])

A necessidade de escoramento das peças de lintel para a posterior execução do elemento estrutural é um dos problemas que conduz à menor produtividade na obra de alvenaria, influenciando também a qualidade de execução desse ponto singular. Poucos sistemas de alvenaria existentes na Europa disponibilizam soluções para a execução deste ponto singular com maior rapidez e simplicidade.

Uma das formas de evitar o escoramento das peças de lintel será a utilização de lintéis prefabricados do próprio sistema, obrigando no entanto a adaptar a dimensão dos vãos às dimensões disponíveis dos lintéis [Figura 30]. Outra hipótese será a utilização de um pré-lintel, que tanto poderá ser uma peça maciça em betão de secção rectangular (ligeiramente armada), como pequenos elementos em forma de “U” com preenchimento do seu espaço interior [Figura 31]. Estas peças

poderão ser cortadas em obra para ajuste ao comprimento do vão, tendo suficiente resistência para suportar o peso das peças de lintel e do elemento de confinamento até à sua secagem.



Figura 30: Lintéis prefabricados com comprimentos entre 80 e 260cm (fonte: *Imerys Structures* [79])



Figura 31: Pré-lintéis cerâmicos com isolante e de betão armado (fontes: *Poroton* [86], *Tout Faire Matériaux* [92])

4.1.1.2.5. Peças de forra térmica

As peças de forra térmica disponibilizadas pelos sistemas de alvenaria destinam-se à resolução de pontes térmicas em zonas de heterogeneidade construtiva (sobretudo na zona de elementos estruturais em betão armado), por vezes sem a inclusão de outros isolamentos, embora mais frequentemente com a aplicação adicional de materiais de isolamento térmico [Figura 32]. No caso da aplicação em conjunto com outros materiais de isolamento, a forra térmica tem como principais funções a protecção mecânica dos materiais de isolamento, assim como a execução de uma base sólida e aderente para a recepção dos revestimentos de parede.



Figura 32: Forra térmica em betão leve, cerâmica com e sem isolante (fontes: *Bétonor* [73], *Poroton* [86], *ImerysStructure* [79])

A utilização de peças de forra térmica é sobretudo necessária quando existem elementos estruturais em betão armado (pilares e vigas) ou no topo das lajes de piso, uma vez que o betão tem uma menor resistência térmica. Por serem zonas onde se concentram forças de tracção e compressão entre os diferentes elementos da fachada, as forras térmicas deverão ser cuidadosamente executadas, reforçando-se a sua ligação ao suporte. Alguns tipos de revestimentos, como por exemplo os rebocos, deverão ser armados nesta zona para não fissurar.

4.1.1.2.6. Peças de estore

Alguns sistemas integrados de alvenaria disponibilizam peças próprias para a inclusão de estores de rolo na zona dos vãos envidraçados. A utilização deste tipo de sistemas de protecção solar, muito recorrente em Portugal nas últimas décadas, por diversas razões praticamente não existe em alguns países europeus. Em Portugal a sua utilização é também cada vez menor, sobretudo desde a entrada em vigor do RCCTE [62], estando a ser progressivamente substituído por soluções que vão desde lâminas exteriores orientáveis a portadas exteriores e interiores. Alguns fabricantes europeus comercializam também peças próprias para a inclusão de estores de lâminas, que, necessitando de menos espaço para a instalação do dispositivo, apresentam maior robustez que as peças para estores de rolo [Figura 33].



Figura 33: Peças para estore de rolo e estore de lâminas com isolamento incorporado (fonte: *Turber* [93])

A introdução de estores de rolo nas fachadas resulta frequentemente na fragilização construtiva deste ponto singular, fazendo surgir os seguintes problemas:

- comportamento térmico deficiente devido à pouca espessura e resistência térmica da parede interior da caixa de estore (espaço ventilado), justificando a introdução de materiais isolantes junto desta parede (de difícil aplicação), nomeadamente para cumprimento do RCCTE [62];
- isolamento acústico deficiente devido à reduzida massa da parede interior da caixa de estore, assim como à difícil selagem da caixilharia nessa mesma parede (de pouca espessura), dando origem ao fenómeno acústico das transmissões parasitas (que deverá ser tratado com a introdução de material absorvente sonoro);
- reduzida estanquidade ao ar pela dificuldade de selagem da caixilharia na parede interior da caixa de estore;
- fraco comportamento mecânico, como resultado da geometria e leveza da caixa de estore (que, para além de conter o estore, deverá permitir o acesso para manutenção), assim como das ligações frágeis à caixilharia e por vezes ao lintel.

Uma vez que, de acordo com o RCCTE [62], o espaço interior da caixa de estore é considerado um espaço ventilado, a parede interior da caixa de estore deverá observar as regras estabelecidas para as pontes térmicas planas, o que leva a que seja praticamente inevitável a colocação de materiais de isolamento térmico no seu interior.

4.1.1.2.7. Peças para paredes interiores

O facto de alguns sistemas de alvenaria se terem orientado sobretudo para a execução de paredes de fachada faz com que algumas peças, importantes na definição de um sistema completo e integrado, não sejam disponibilizadas pelos mesmos. Destacam-se dois tipos de peças menos comuns que, no entanto, ajudam a garantir a boa execução da obra e uma melhor qualidade construtiva: as peças para a execução de paredes interiores de compartimentação (com ou sem função resistente), e as peças destinadas a incorporar infra-estruturas do edifício (canalizações e tubagens).

As paredes de compartimentação interior poderão ter função resistente ou não, contribuindo mais ou menos para a estabilidade do edifício. Estas paredes, quando não resistentes, são muitas

vezes executadas com unidades de alvenaria exteriores ao próprio sistema, com geometrias e composições diferentes das peças do sistema. Esta opção resulta por vezes em problemas relacionados com a estabilidade das alvenarias, por deficiente ligação entre as mesmas. Nestes casos, a ligação entre as alvenarias de compartimentação e as resistentes (de fachada ou de meiação) é feita normalmente de topo, ou seja, sem que haja intersecção ou sobreposição de unidades entre as mesmas.

O contraventamento das paredes de compartimentação deverá ser garantido pela utilização de armaduras de junta e de ligadores. Por vezes com má execução, estas ligações mais frágeis dão origem ao desligamento das alvenarias, surgindo fissuração e pondo em causa inclusivamente a estabilidade das paredes. Alguns sistemas integrados de alvenaria disponibilizam outro tipo de sistemas para a ligação entre as paredes de fachada e as de compartimentação [Figura 34].



Figura 34: Sistema "ZIS" de paredes interiores de compartimentação (fonte: *Bellenberg* [100])

No entanto, alguns sistemas de alvenaria disponibilizam peças próprias para a execução de paredes interiores de compartimentação, que, por não terem que cumprir certas exigências das paredes exteriores (como p.ex. de comportamento térmico e de estanquidade à água), têm menores dimensões, mesmo com funções estruturais [Figura 35].

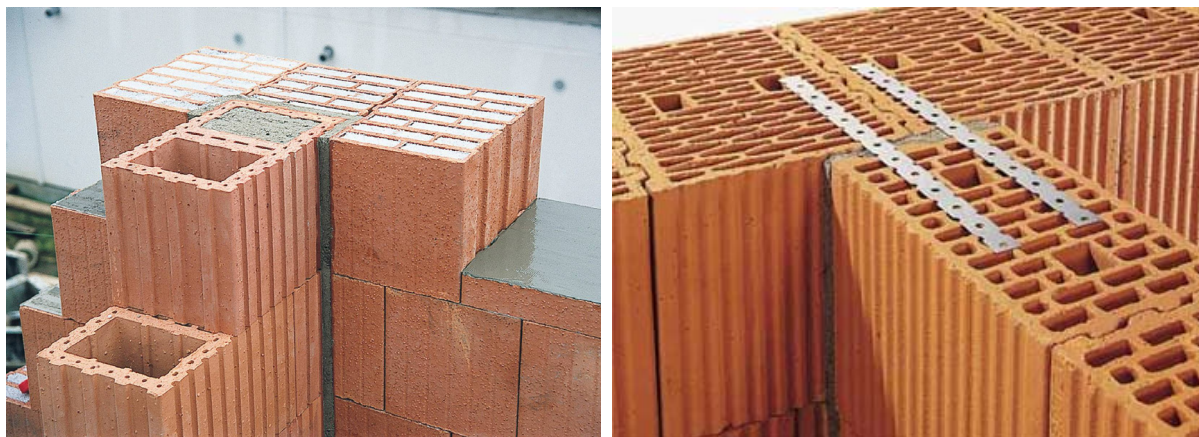


Figura 35: Sistemas “SPZ” e “HLZ” para paredes interiores de compartimentação (fonte: *Rimmele* [87])

4.1.1.2.8. Peças para integração de infra-estruturas

A integração de redes e instalações no tosco de paredes resistentes pode comprometer gravemente o comportamento das mesmas. Em alvenaria estrutural, mas também em alvenarias exteriores sem função resistente, essa integração deverá ser evitada, devendo respeitar algumas regras e exigências quando for executada. Para além da utilização de instrumentos próprios para a abertura dos roços, deverá ser garantida uma profundidade máxima dos mesmos, de forma a não reduzir consideravelmente o desempenho da alvenaria.

No Eurocódigo 6 [46] referem-se algumas dimensões máximas para a execução de roços e cavidades em alvenaria estrutural. Estas dimensões dependerão sobretudo da geometria dos blocos e da espessura dos seus septos, mas dificilmente poderão servir para embeber tubagens de maior diâmetro, como por exemplo de instalações sanitárias. O projecto de redes e instalações deverá atender a estas preocupações, e no caso de prever a embebição de tubagens e canalizações na alvenaria, o traçado e profundidade dos roços deverá ser objecto de um estudo cuidadoso.

Apesar de muito frequentemente circularem no interior de ductos dispostos estrategicamente em certas zonas do edifício, as infra-estruturas poderão ser distribuídas através de peças próprias dos sistemas de alvenaria [Figura 36]. Estas peças serão destinadas sobretudo à aplicação em paredes divisórias interiores, sem função resistente.



Figura 36: Peças para incorporação de infra-estruturas (fontes: *KAMTEC* [95], *Imerys Structures* [79])

4.1.1.2.9. Peças especiais

Para além das peças complementares mais comuns dos sistemas de alvenaria, por vezes encontram-se também algumas peças especiais para a realização de pormenores construtivos em zonas específicas da construção. Estas peças de pormenorização e detalhe são normalmente substituídas pela disposição de marcas de corte nas peças base dos sistemas, ou por vezes em algumas das peças complementares [Figura 37].

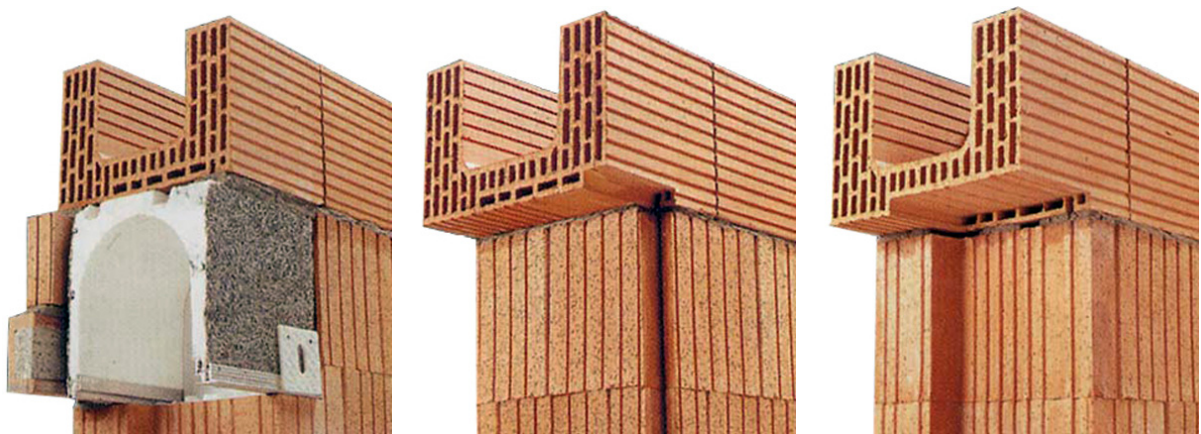


Figura 37: Peças complementares do sistema com possibilidade de corte para detalhe do vão (fonte: *Wienerberger* [95])

As peças especiais de pormenorização e detalhe têm por objectivo garantir uma execução mais fácil e a qualidade construtiva de certos pormenores construtivos. As mais comuns são para aplicação na zona dos vãos, auxiliando a colocação e vedação das caixilharias. Existem alguns tipos de peças com esta função, podendo-se destacar os seguintes: pré-lintéis, que para além de permitirem executar o lintel sem recurso a escoramento, poderão servir igualmente para encosto e

vedação das caixilharias [Figura 38], e peças de soleira ou peitoril, para fixação e vedação da caixilharia e fácil execução da pendente com impermeabilização [Figura 39].

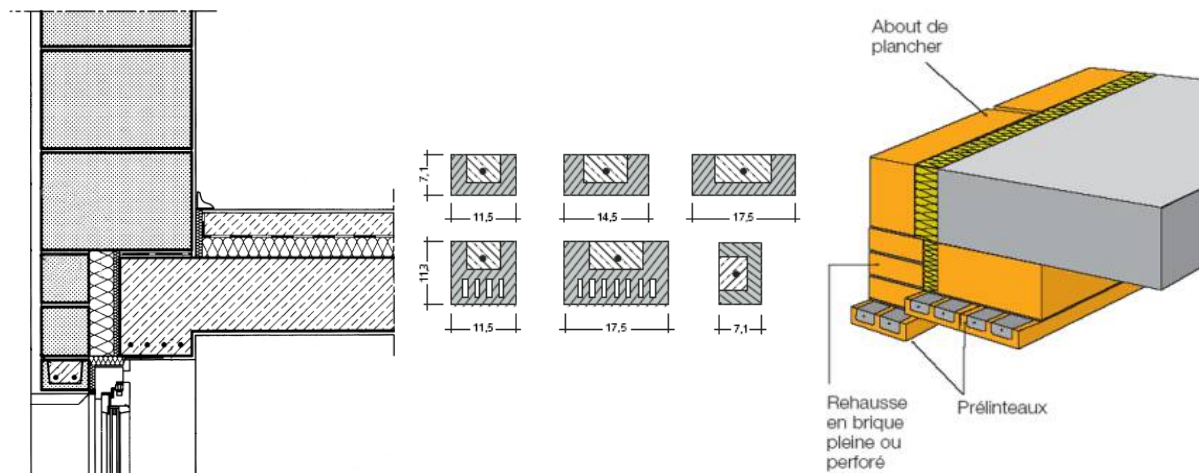


Figura 38: Pré-lintéis em forma de "U" com diferentes tamanhos (fonte: *Wienerberger* [95], *Ziegel Forum* [99])



Figura 39: Peças de peitoril para colocação de impermeabilização entre as mesmas (fonte: *Imerys Structure* [79])

4.1.1.3. Peças de confinamento

As paredes de alvenaria confinada deverão ser providas de elementos verticais (montantes) e horizontais (cintas) de confinamento, de modo a que os mesmos actuem em conjunto com a alvenaria como uma única estrutura, quando sujeitos a acções. O que melhor diferencia uma estrutura porticada em betão armado de uma estrutura confinada (também com elementos de betão armado, embora de menor dimensão), é o facto da betonagem dos elementos estruturais, no caso das alvenarias confinadas, ser feita após a realização da alvenaria, garantindo assim uma forte ligação entre os elementos.

Alguns sistemas integrados de alvenaria disponibilizam peças próprias para a realização de estruturas em alvenaria confinada, tanto para a execução de montantes como de cintas em betão armado. Quando as alvenarias exteriores têm elementos estruturais em betão armado, um dos principais problemas existentes resulta da maior condutibilidade térmica do betão, criando assim uma situação de ponte térmica difícil de resolver. A inclusão de alguns tipos de isolantes na face exterior do elemento em betão armado, como por exemplo espumas plásticas, é a solução mais comum de resolução deste problema nos sistemas de alvenaria confinada.

No Eurocódigo 6 [46] referem-se algumas dimensões mínimas para a execução dos elementos de confinamento em betão armado, assim como a localização que estes elementos devem ter nas paredes de alvenaria confinada. De acordo com esta norma, os elementos de confinamento devem ter uma dimensão lateral mínima de 150mm no plano da parede. Esta dimensão dos elementos estruturais não permite que a espessura remanescente do bloco nesta zona de ponte térmica garanta por si só a adequada resistência térmica da parede, nomeadamente o cumprimento dos requisitos de isolamento térmico estabelecidos no RCCTE [62].

Dentro das peças de confinamento, existem peças de maior dimensão, cujo espaço para a execução do elemento de confinamento se encontra totalmente no interior da peça, ou peças de menor dimensão, as quais são justapostas a outras unidades do sistema para a execução do elemento estrutural [Figura 40].

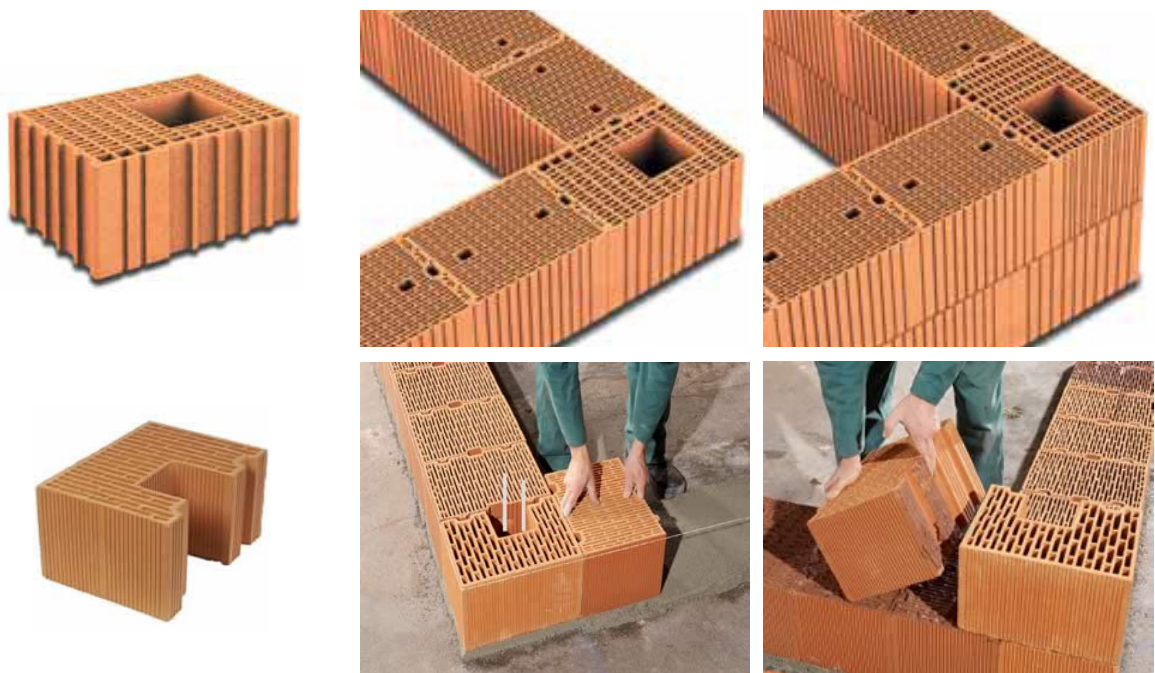


Figura 40: Dois tipos de peças de confinamento aplicadas em cunhais (fontes: *Porotherm* [95], *Monomur* [82])

As peças de confinamento de menor dimensão são mais interessantes, uma vez que têm um menor peso (por vezes excessivo no outro tipo de peças), mas também porque permitem realizar um melhor contraventamento da alvenaria nos remates, tirando partido das peças base e de meio comprimento do sistema [Figura 41].

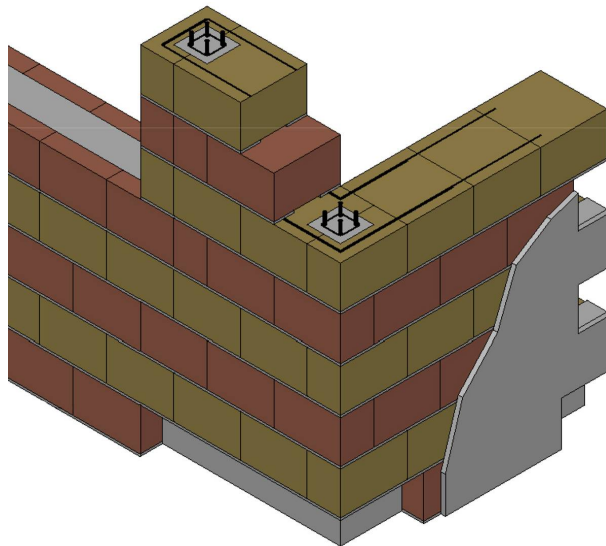


Figura 41: Remates em cunhal e ombreira de vão com peças de confinamento

4.1.2. Argamassa de assentamento

Nesta parte do trabalho serão abordadas as questões relativas às argamassas de alvenaria, mais correntemente denominadas argamassas de junta ou de assentamento. As argamassas de assentamento resultam da mistura de ligantes inorgânicos, agregados (areia), água, com ou sem a introdução de aditivos e adjuvantes. As argamassas podem ser, consoante o tipo de ligantes inorgânicos usados, de cal aérea, de cal hidráulica, de cimento, bastarda (com vários ligantes) ou de gesso.

4.1.2.1. Tipos de argamassa

A norma EN998-2 [50] distingue dois tipos principais de argamassas (industriais e semi-industriais) de assentamento: as argamassas de “desempenho”, quando a composição e o processo de fabrico estão definidos pelo fabricante com vista a obter propriedades específicas, e as

argamassas de “formulação”, fabricadas segundo uma composição pré-determinada, para as quais as propriedades obtidas dependem da proporção entre os componentes. Na mesma norma é feita uma distinção consoante o tipo de uso: do tipo “G”, para uso geral; do tipo “T”, para a realização de junta delgada em blocos rectificadas; e do tipo “L”, para argamassas aligeiradas (massa volúmica inferior a 1300kg/m³) com desempenhos térmicos melhorados.

É recorrente a utilização de diferentes tipos de argamassas existentes no mercado. A argamassa “desenhada” é uma argamassa elaborada e fabricada para obter determinadas propriedades e ser sujeita a ensaios posteriormente. A argamassa “prescrita” é realizada em proporções pré-determinadas, como por exemplo com o traço 1:1:6 (cimento:cal:areia), sendo que estas proporções são definidas pelo projectista da obra. A argamassa “pré-misturada” (seca) é realizada com componentes doseados e misturados em fábrica, fornecidos à obra secos, onde serão misturados com outros componentes recomendados ou fornecidos pelo fabricante (p.ex., cimento). Por fim, a argamassa “feita em obra” (a mais tradicional) é composta por componentes primários, misturados e amassados em obra.

A utilização de argamassas ditas “tradicionais” (feitas em obra) para alvenaria resistente deverá ser evitada pelos seguintes motivos:

- pela influência das mesmas no comportamento geral da alvenaria;
- pelas exigências aplicáveis a este tipo de argamassas, nomeadamente a sua resistência à compressão e a sua influência na resistência ao corte do conjunto da alvenaria (resistência ao cisalhamento);
- pela desqualificação da mão-de-obra na construção civil, não garantindo a qualidade de execução da argamassa.

4.1.2.2. Enquadramento normativo

O enquadramento normativo europeu das argamassas para alvenaria é apoiado nos seguintes documentos: o Eurocódigo 6 [47] e o Eurocódigo 8 [48], com os seus respectivos Documentos Nacionais de Aplicação (DNA) portugueses, a EN 998-1 [49] (especificações para argamassas de reboco), a EN 998-2 [50] (especificações para argamassas de alvenaria), e a EN 1015 [44] para os métodos de ensaio das diferentes argamassas. De acordo com o Eurocódigo 6, as argamassas de alvenaria industriais deverão estar de acordo com a norma EN 998-2, enquanto as realizadas em obra deverão estar de acordo com a parte 2 do Eurocódigo 6 [47].

4.1.2.3. Exigências regulamentares

Apesar do vasto conjunto de exigências regulamentares, os únicos valores concretos de exigências que existem na normalização aplicável são os relativos à resistência à compressão e à resistência do conjunto (da alvenaria). As argamassas de comportamento especificado (prestação garantida) deverão ter a sua resistência à compressão declarada pelo fabricante. Esta declaração pode ser realizada de acordo com as classes definidas na EN998-2 [50], onde a resistência é designada pela letra “M” seguida da resistência à compressão correspondente à argamassa (em MPa) [Quadro II].

Quadro II: Classes da argamassa de alvenaria segundo a EN998-2 [50] (valores de resistência à compressão a 28 dias)

Classe	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20	M d
Resistência à compressão (MPa)	1	2,5	5	10	15	20	d

d - resistência à compressão, superior a 25 MPa, declarada pelo fabricante

Para alvenaria estrutural, o Anexo Nacional do Eurocódigo 6 [58] estabelece como exigência as classes M5 e M10. No caso das argamassas serem utilizadas em paredes de alvenaria estrutural com requisitos sísmicos, de acordo com o Anexo Nacional do Eurocódigo 8 [59], a resistência mínima à compressão da argamassa ($f_{m,min}$) deverá ser de 5MPa para a alvenaria simples e confinada, e 10MPa para alvenaria armada. Para as argamassas correntes prescritas, o Anexo Nacional do Eurocódigo 6 refere que as classes de resistência poderão ser obtidas a partir da composição em volume (cimento: cal hidratada ou hidráulica: areia) [Quadro III].

Quadro III: Composição em volume da argamassa corrente prescrita para as classes de resistência referidas no Anexo Nacional do Eurocódigo 6 [58]

Classes de resistência da argamassa	Composição em volume da argamassa		
	Argamassa de cimento e cal hidratada	Argamassa de cimento e cal hidráulica	Argamassa de cimento
M5	1 : ½ - 1 : 4 ½ - 5	1 : ½ - 1 : 4 ½ - 5	1 : 4
M10	1 : 0 - 1/4 : 3	1 : 0 - 1/4 : 3	1 : 3

Nas argamassas de comportamento especificado, com utilização prevista em alvenaria estrutural, a resistência do conjunto, resultante da combinação da argamassa com as unidades de alvenaria, deverá ser declarada em termos da resistência característica inicial ao corte. Esta declaração deverá ser feita com base em dois métodos principais:

- com base em ensaios, em que a resistência característica inicial ao corte da argamassa combinada com determinadas unidades de alvenaria deverá ser resultado de ensaios a uma amostra de argamassa conforme a EN 1015-2 [45] e testada de acordo com a NP EN 1052-3 [56] - neste caso, a resistência característica inicial ao corte não deverá ser inferior ao valor declarado;
- com base em valores tabelados, em que a resistência característica inicial ao corte da argamassa combinada com determinadas unidades de alvenaria deverá atender ao Anexo C da EN 998-2 [50], apresentando o valor mínimo de 0,15 MPa para argamassas correntes e leves, e de 0,30 MPa para argamassas cola para juntas delgadas.

4.1.2.4. Execução das argamassas de assentamento

A influência das argamassas no comportamento do conjunto da alvenaria exige algum cuidado na avaliação da sua adequação ao tipo de blocos e tipologia da alvenaria. Para além das principais exigências já referidas, as argamassas de assentamento têm também influência directa no comportamento térmico da parede e na sua estanquidade à água. Estas duas exigências, para além de variarem com a composição e com o tipo de argamassa, são também influenciadas pelo modo de execução da argamassa em obra.

As juntas descontínuas (ou interrompidas) de argamassa, ao criarem uma descontinuidade na zona central da alvenaria, contribuem para a melhoria dos comportamentos térmico e de estanquidade à água da parede. Alguns blocos têm geometrias adequadas a este tipo de assentamento, tendo parte da face superior do bloco lisa, com as furações verticais tapadas. Neste tipo de blocos, as furações centrais ficam abertas de forma a criarem um espaço de ar contínuo ao longo da faixa central da alvenaria [Figura 42].



Figura 42: Junta de assentamento descontinua em alvenaria com blocos “Conforto”

Outras características igualmente importantes das argamassas de assentamento relacionam-se directamente com a sua execução, como são exemplo disso o tempo de abertura e o rendimento de execução. O espalhamento da argamassa é feito na directa proporção do seu tempo de abertura: quanto maior for o tempo de abertura, maior o espalhamento de argamassa, levando a um menor número de aplicações de argamassa no conjunto da obra da alvenaria (contribuindo para uma maior produtividade). Por outro lado, o rendimento de execução é muito influenciado por outras propriedades da argamassa, e do seu modo de aplicação.

As argamassas para junta fina ou delgada, destinadas a alvenarias de blocos rectificadas, são as que apresentam maiores vantagens no seu uso. A sua influência na transmissão térmica do conjunto da alvenaria considera-se quase nula, tornando o coeficiente de transmissão térmica da parede praticamente coincidente com o da unidade de alvenaria. Este tipo de argamassas permite melhorar os desempenhos térmico e de estanquidade à água da parede, mas também a economia e produtividade na execução da obra de alvenaria.

Apesar de existirem vários tipos de argamassas finas com diferentes características físicas, as suas formas de aplicação passam sobretudo pela utilização de máquinas doseadoras, que, para além de permitirem controlar a quantidade de argamassa (evitando desperdícios), tornam a execução das juntas de argamassa muito mais célere [Figura 43].



Figura 43: Aplicação de argamassa cola em juntas delgadas (fonte: Zeller Poroton [96])

A utilização de argamassas para junta fina ou delgada permite a realização de juntas de espessuras muito reduzidas. O Eurocódigo 6 [46] refere, para este tipo de junta, uma variação de espessura entre 1,0 e 3,0mm. Este tipo de junta, no entanto, exige um grande controlo de tolerâncias, tanto no fabrico dos blocos (tolerância dimensional) como na execução da alvenaria (tolerância de montagem ou execução).

4.1.3. Utensílios para a execução da obra

Apesar da execução de alvenarias com blocos de grande formato exigir maior esforço e rigor por parte dos executantes do que as alvenarias “tradicionais” com tijolos correntes, existem diversos instrumentos de trabalho que apoiam e facilitam a sua execução. A utilização destes instrumentos oferece muitas vantagens, entre as quais a facilidade e rapidez de execução (reflectindo-se na economia e produtividade da obra), garantindo ao mesmo tempo uma melhor qualidade de execução (e, logo, melhor qualidade construtiva), assim como reduz o risco de lesão dos trabalhadores durante a execução da alvenaria.

Na execução da primeira fiada da alvenaria, a utilização de niveladores de argamassa permite garantir a sua correcta horizontalidade [Figura 44]. Mesmo que esteja prevista a utilização de argamassa cola nas fiadas seguintes, é frequente a utilização de argamassa corrente e junta espessa na primeira fiada de alvenaria, de forma a combater a irregularidade do suporte. Estes niveladores são dispostos na base de assentamento, distribuindo-se a argamassa com o seu auxílio e utilizando-se régua de madeira para alisar a argamassa.

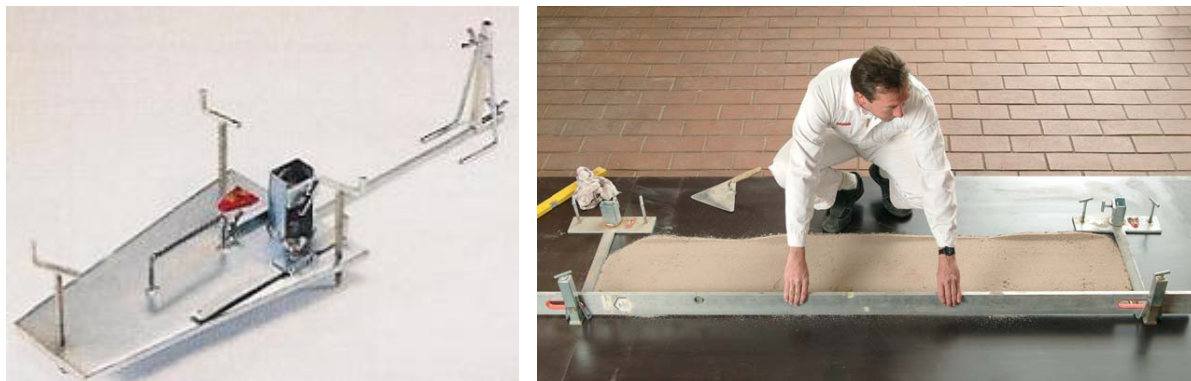


Figura 44: Nivelador para execução da primeira fiada da alvenaria (fontes: *Bellenberg* [100], *Unipor* [94])

Para a mistura da argamassa, o mais frequente é a utilização de um balde comum para mistura dos seus constituintes, com o auxílio de uma misturadora manobrável por um operário. No entanto, nos casos em que seja necessário produzir maiores quantidades de argamassa, poderá ser usada uma máquina de mistura de maiores dimensões [Figura 45].



Figura 45: Misturadoras de argamassa (fonte: *ConstructionComplete* [67])

A colocação da argamassa nas juntas de assentamento é realizada de diferentes modos, dependendo do tipo de bloco, de alvenaria e de argamassa. A argamassa corrente é colocada de forma convencional, distribuindo-a em toda a largura da junta com o auxílio de uma espátula. Quando é especificada junta descontínua, poderá recorrer-se a uma régua de madeira com largura ligeiramente maior que a desejada para o canal seco, ou a utensílios próprios para a realização deste tipo de junta [Figura 46]. Após a colocação das unidades, os excessos de argamassa que transbordam lateralmente são retirados com o auxílio de uma espátula.



Figura 46: Assentamento com junta descontinua e utensílios próprios para a sua execução (fontes: *Porotherm* [95], *Maxit*)

As argamassas cola para juntas delgadas, pelas suas características e propriedades, levaram à concepção de instrumentos que facilitassem o seu espalhamento nas juntas. Apesar de ser possível a sua aplicação por mergulho parcial dos blocos num recipiente com argamassa, os aparelhos doseadores vieram contribuir para uma mais rápida aplicação da argamassa, permitindo também controlar a quantidade de argamassa a dispor, e consequentemente a espessura da junta [Figura 47]. O aparelho doseador permite adaptar também a argamassa à largura da alvenaria, limitando o desperdício de material. Com este tipo de instrumentos, será possível distribuir de uma só vez a camada de argamassa em toda a extensão da parede, diminuindo a frequência com que será necessário proceder a esta operação. A última geração destas máquinas distribui em simultâneo com a argamassa uma rede muito fina que melhora o desempenho da junta de argamassa.



Figura 47: Máquinas doseadoras para aplicação de argamassa cola em juntas delgadas (fonte: *NBT ThermoPlan* [83])

Ainda que grande parte das unidades de alvenaria disponham de orifícios para facilitar o seu manuseamento, o peso e a geometria dos blocos dificultam a operação de montagem manual da alvenaria. Existem no mercado vários tipos de utensílios para auxiliar esta operação, sendo que os próprios sistemas de alvenaria têm por vezes pegas metálicas adaptadas à geometria dos blocos que fabricam [Figura 48].



Figura 48: Utensílios para o manuseamento de blocos (fontes: *Silverline* [88], *Unipor* [94], *Monomur* [82])

Relativamente à movimentação e elevação de cargas em obra, nomeadamente de um conjunto de unidades de alvenaria com elevado peso, existem uma série de instrumentos e máquinas para facilitar estas operações. Destacam-se os carrinhos de transporte com capacidade para várias unidades, por vezes associados a um mecanismo de elevação que permite aproximar as peças da altura na parede a que vai ser realizado o seu assentamento [Figura 49].



Figura 49: Carros para movimentação e elevação de cargas (fontes: *Star Industries* [90], *Southworth* [89])

O corte das unidades de alvenaria, quando necessário, poderá ser executado com ferramentas convencionais, muito embora existam no mercado serras eléctricas próprias para a execução deste trabalho, que, por serem adequadas a esta utilização, permitem não só facilitar a operação como obter um corte de melhor qualidade [Figura 50]. No Eurocódigo 6 [47] referem-se inclusivamente diferentes dimensões máximas para a execução de roços e cavidades, quer os mesmos sejam executados por métodos convencionais ou com o auxílio de máquinas apropriadas.



Figura 50: Serras eléctricas para corte de unidades de alvenaria em obra (fontes: *Construction Complete* [67])

4.2. Revestimentos

As paredes de alvenaria, embora em situações muito específicas de alguns espaços interiores sejam executadas para ficar aparentes, são normalmente acabadas com diversos tipos de revestimentos, definidos de acordo com múltiplos factores. Para além da adequação do revestimento ao tipo de suporte, estes factores dizem respeito às diversas funções que os revestimentos têm de desempenhar numa parede, como por exemplo garantir a necessária estanquidade ao ar e à água, contribuir para o isolamento térmico e acústico, servir de protecção mecânica ao tosco e eventuais elementos estruturais, desempenhando desta forma um papel determinante na durabilidade das paredes e da construção.

Para além destes factores, que dizem respeito aos desempenhos funcionais, o custo das soluções de revestimento tem também particular importância para a sua escolha, uma vez que o peso relativo dos revestimentos no custo total da obra é significativo. A análise económica das soluções de revestimentos deve também entrar em linha de conta com os aspectos relativos à sua manutenção e reparação, dentro de uma perspectiva abrangente de todo o ciclo de vida de uma construção.

Para um correcto desempenho dos revestimentos das paredes, será fundamental que se avaliem com base em critérios quantitativos e/ou qualitativos as suas características, a sua forma de produção e de aplicação em obra, garantindo-se assim uma boa qualidade de execução e a adequação ao uso previsto. Se no passado o bom desempenho dos revestimentos era resultado da larga experimentação das soluções, e portanto do conhecimento acumulado por uma mão-de-obra qualificada (conhecimento esse que passava de mestre para aprendiz), hoje, com a proliferação de soluções e a desqualificação da mão-de-obra na construção civil, é cada vez mais necessário garantir o estudo e a caracterização das soluções, assim como a definição dos cuidados a ter na execução da obra e na manutenção dos materiais.

4.2.1. Classificação funcional

A escolha dos revestimentos para aplicação em qualquer parede, tanto no interior como no exterior, ou por exemplo em alvenaria resistente ou de preenchimento, deverá ter por base uma filosofia exigencial. Este procedimento compreende os seguintes passos:

- definir as funções que se pretende ver desempenhadas pelo revestimento;
- identificar as principais características do revestimento para o correcto desempenho das funções pretendidas;
- estabelecer métodos de quantificação e de avaliação dessas mesmas características.

Após a avaliação das características dos revestimentos e sua adequação à função a desempenhar na parede, será sempre necessário avaliar a adequação ao seu suporte. Um determinado revestimento poderá não ser adequado à utilização com determinado suporte devido a múltiplos factores, desde incompatibilidade química, falta de resistência mecânica para utilização de certos dispositivos de fixação, etc. As fichas técnicas que acompanham os produtos de construção, tanto os revestimentos como por exemplo as unidades de alvenaria, devem ter informações acerca da sua compatibilidade com as soluções mais correntes no mercado e o modo de aplicação previsto.

Os revestimentos podem ser classificados de diversas formas em função do material, espessura, função, ou por exemplo grau de tradicionalidade (revestimentos tradicionais ou não tradicionais). No entanto, para facilitar a utilização da filosofia exigencial é frequente a sua classificação de acordo com as funções principais que desempenham. Deste modo, as principais funções dos revestimentos de paredes em alvenaria são a regularização do tosco, o acabamento dos paramentos e a protecção das alvenarias, constituindo uma barreira às acções externas. Outros revestimentos mais específicos podem ter funções de isolamento térmico ou acústico, complementando assim o desempenho do tosco quando insuficiente.

Os revestimentos exteriores reúnem um vasto conjunto de funções, resultado da sua exposição a um maior número de agentes externos. Uma das principais funções deste tipo de revestimentos é a impermeabilização das paredes, tendo particular relevo no caso das paredes de pano simples, que, ao contrário das de pano duplo, não têm uma caixa-de-ar que permita conduzir eventuais infiltrações para o exterior. No entanto, no caso das paredes exteriores simples em alvenaria com unidades de grande formato, embora não se possam dispensar revestimentos de impermeabilização, a grande espessura do tosco contribui decisivamente para o seu desempenho global de estanquidade.

A classificação funcional de revestimentos de paredes exteriores adoptada num documento publicado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [16] estabelece principal relevo na função de impermeabilização e admite três níveis distintos, aos quais foi acrescentado um quarto nível relacionado com a função de isolamento térmico desses mesmos revestimentos. A classificação é feita do seguinte modo:

- revestimentos de estanquidade, os que garantem por si só a estanquidade da parede à água da chuva, significando isto que, mesmo que o suporte esteja fendilhado, o revestimento conseguirá evitar a entrada de água para o interior;
- revestimentos de impermeabilização, os que contribuem mas não asseguram por si só a estanquidade da parede, significando isto que, quando o suporte não tiver uma boa condição de estanquidade ou estiver fendilhado, o revestimento não conseguirá evitar a entrada de água para o interior;
- revestimentos de isolamento térmico, os que têm como principal função o isolamento térmico da parede, muito embora ofereçam também protecção contra a água da chuva, podendo ser da mesma forma revestimentos de estanquidade ou de impermeabilização;
- revestimentos de acabamento ou decorativos, os que têm como principal função o acabamento das paredes, sendo mínima a sua contribuição para a estanquidade à água (são muitas vezes resistentes à água, ou seja, laváveis, mas não impermeáveis), ou para o isolamento térmico da parede.

Os revestimentos interiores, por sua vez, são classificados de acordo com a capacidade que possuem em desempenhar as principais funções exigidas para o interior dos compartimentos, como por exemplo a regularização das paredes, a resistência à água, ou a decoração (aspecto estético). Neste tipo de revestimentos será também essencial para a sua correcta escolha e especificação ter informações acerca do seu modo de aplicação, adaptação aos suportes, ou por exemplo procedimentos de manutenção (limpeza e reparação de anomalias).

4.2.2. Exigências funcionais

A Directiva Produtos de Construção [41] estabelece as seguintes seis exigências essenciais (EE) para os produtos, materiais e sistemas a utilizar na construção de edifícios: estabilidade (EE1), segurança contra riscos de incêndio (EE2), higiene, saúde e ambiente (EE3), segurança no uso (EE4), protecção contra o ruído (EE5) e economia de energia (EE6).

As exigências essenciais são aplicáveis às paredes no seu conjunto (tosco e revestimentos), sendo que os revestimentos deverão contribuir para o cumprimento dessas mesmas exigências, verificando para tal determinados requisitos aplicáveis a cada caso. Por exemplo, no caso de revestimentos exteriores com placas de pedra fixadas mecanicamente ou coladas ao tosco, a estabilidade será uma das principais exigências a ter em conta, uma vez que do seu desprendimento pode resultar um acidente grave. Por este motivo, a estabilidade tem de ser garantida, nomeadamente através do cálculo e ensaio dos sistemas de fixação dos revestimentos. No entanto, no caso de um revestimento de impermeabilização de ligante sintético (do tipo membrana elástica), por exemplo, não fará sentido avaliar a sua estabilidade. Estes dois exemplos permitem ilustrar a diversidade e especificidade das exigências relativas aos diferentes tipos de revestimentos e situações.

Apesar das seis exigências essenciais definidas na Directiva Produtos de Construção [41] terem particular relevo, as exigências funcionais dos revestimentos de paredes poderão ser decompostas em inúmeras sub-exigências, conforme se mostra com alguns exemplos no quadro em baixo [Quadro IV]. Esta estratificação traduz-se numa ferramenta muito útil para a correcta escolha e definição dos revestimentos, assim como para o desenvolvimento do projecto e execução da obra.

Quadro IV: Exemplo de exigências e sub-exigências funcionais de revestimentos de paredes (ITE 25 [17])

Exigências	Sub-exigências		
Segurança	Estabilidade	Solicitações normais de uso	Peso próprio; Solicitações climáticas; Choques normais
		Solicitações acidentais	Choques acidentais
	Riscos de incêndio	Reacção ao fogo; Acção fisiológica	
	Segurança no uso	Toxicidade	
		Segurança no contacto	Rugosidade dos paramentos; Temperatura de paramentos
Compatibilidade com suporte	Compatibilidade geométrica; Compatibilidade mecânica; Compatibilidade química		
Estanquidade	Estanquidade à água	Água da chuva	Permeabilidade à água; Absorção de água; Permeabilidade ao vapor
		Água no interior	Permeabilidade à água; Absorção de água
Termo-higrometria	Isolamento térmico		
	Secura paramento interior	Temperatura superficial interior	

Conforto visual	Planeza	Planeza geral; Planeza localizada	
	Verticalidade		
	Homogeneidade de enodoamento pela poeira	Homogeneidade da temperatura superficial interior	
Higiene	Fixação de poeiras ou de micro-organismos	Aspereza; Pegajosidade	
	Resistência à limpeza		
Adaptação à utilização normal	Resistência a acções de choque e de atrito	Resistência aos choques	Choques de corpo mole; Choques de corpo duro
		Resistência à riscagem	Classes de resistência
	Resistência à acção da água	Água da chuva; Projecções acidentais de água; Resistência à lavagem; Vapores húmidos	
	Aderência ao suporte	Resistência ao arrancamento por tracção; Resistência à peladura	
	Resistência à formação de nódoas de produtos químicos ou domésticos	Resistência à formação de nódoas; Lavabilidade	
	Resistência à suspensão de cargas		
	Durabilidade	Resistência aos agentes climáticos	Calor; Frio; Água; Luz; Choques térmicos
Resistência aos produtos químicos do ar		Ozono; Dióxido de azoto; Dióxido de enxofre; Soluções amoniacaais	
Resistência à erosão provocada pelas partículas sólidas em suspensão no ar			
Resistência à fixação e ao desenvolvimento de bolores			

Seguidamente fazem-se referências mais aprofundadas das seis exigências essenciais (EE) relativas aos revestimentos.

4.2.2.1. Estabilidade

A estabilidade de uma parede é frequentemente assegurada pelo tosco sem contributo dos seus revestimentos. No entanto, alguns revestimentos devem ter requisitos específicos de estabilidade por

si só, evitando o seu desprendimento ou queda. Neste tipo de revestimentos incluem-se todos os revestimentos fixados mecanicamente ou colados ao suporte, cujo peso próprio ameace a sua estabilidade.

As características mecânicas do revestimento e do suporte (nomeadamente o módulo de elasticidade e a resistência à tracção) devem ser compatíveis para que não ocorra a degradação de nenhum deles, provocada por tensões que se instalem no outro. A título de exemplo, um suporte de baixa resistência mecânica fissurará sob o efeito das tensões de retracção dum revestimento de ligantes hidráulicos muito forte, reduzindo assim a sua estanquidade à água.

Por outro lado, nos revestimentos com fixação mecânica por grampos ou outros sistemas, a compatibilidade do tipo de fixação com o suporte deve ser também acautelada. No caso de paredes de alvenaria com blocos de furação vertical, a fixação mecânica deve ser adequadamente garantida pelos septos interiores das unidades, procurando que o tipo de fixação não prejudique o comportamento da alvenaria, nomeadamente o seu desempenho térmico.

4.2.2.2. Segurança contra riscos de incêndio

Os revestimentos das paredes devem contribuir para minimizar o risco de deflagração e propagação do fogo, garantindo os tempos de alarme e evacuação dos ocupantes do edifício. Os revestimentos nunca deverão favorecer a propagação do fogo, nem proporcionar o desprendimento de gotas inflamadas. Por outro lado, os revestimentos devem garantir em alguns casos a protecção adequada aos elementos estruturais, de forma a retardar o efeito do fogo sobre a estrutura do edifício. Embora a aplicação de revestimentos com esta função seja muito comum em estruturas metálicas, no caso de paredes de alvenaria não é tão importante, uma vez que normalmente a sua resistência ao fogo é elevada.

4.2.2.3. Higiene, saúde e ambiente

Os revestimentos de parede não devem favorecer a fixação de poeiras e de microrganismos que ponham em causa a sua durabilidade, o seu aspecto, ou a qualidade do ar interior do edifício. Para evitar o risco de fixação de poeiras, as superfícies dos paramentos não devem ser excessivamente ásperas ou pegajosas. Este factor deve ser especialmente acautelado nas paredes que pela sua situação ou orientação fiquem particularmente expostas à poluição atmosférica e à poeira transportada pelo vento e que, simultaneamente, não usufruam de condições favoráveis à sua auto-

lavagem (pela água da chuva), ou por exemplo que permaneçam húmidas por fraca radiação solar (sobretudo paredes viradas a Norte).

Os revestimentos devem ser também laváveis para a sua correcta manutenção, definindo-se os produtos e os procedimentos de limpeza que lhes sejam adequados. Por outro lado, a existência de condensações superficiais, sobretudo na superfície interior das paredes de fachada e nas zonas de grande produção de humidade, deve ser acautelada, de forma a garantir o conforto dos ocupantes desses espaços, mas também a durabilidade dos materiais constituintes das paredes. Os revestimentos interiores não devem, da mesma forma, exalar odores nocivos ou incómodos para os utentes, nomeadamente sob a acção do calor.

4.2.2.4. Segurança no uso

Os revestimentos de parede devem resistir às solicitações combinadas a que estarão sujeitos em condições normais de uso, como por exemplo o seu peso próprio, as solicitações climáticas externas (vento, chuva, choques térmicos, etc.), ou as diversas acções decorrentes da utilização normal (choques de serviço, utilização). As acções decorrentes de choques de serviço ocorrem geralmente até à altura de 1,5 metros acima do nível do piso de circulação de pessoas. Por se tratar de uma acção accidental, poderá ser admitido que a parede possa ser danificada (rotura superficial ou deformação permanente), mas não atravessada. O contributo do revestimento para satisfação desta exigência pode ser considerável, como por exemplo no caso de paredes leves.

4.2.2.5. Protecção contra o ruído

Dentro das soluções mais correntes em edifícios de habitação, será pouco relevante o contributo dos revestimentos para o isolamento acústico das paredes face a sons aéreos. Quer seja entre o exterior e o interior, quer seja entre diferentes compartimentos, o isolamento acústico a sons aéreos é sobretudo garantido (nas partes opacas das paredes) pela elevada massa e espessura do tosco e não pelos revestimentos. No caso de alvenarias com blocos de grande formato, o isolamento acústico a sons aéreos é garantido pela elevada massa e espessura das unidades de alvenaria. No entanto, a existência de vãos numa parede reduz significativamente a importância do isolamento acústico da parte opaca de uma parede, uma vez que os vãos são pontos críticos do seu desempenho acústico.

O desempenho acústico de determinado espaço interior, ao nível do tempo de reverberação, não tem particular importância no caso da habitação, uma vez que os objectos que preenchem os

espaços interiores conferem quase sempre a absorção sonora necessária. No entanto, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [66] estabelece valores limite para o tempo de reverberação dos espaços interiores em determinados edifícios com outras utilizações, nomeadamente os edifícios destinados a espectáculos, à prática desportiva, ao ensino, ou por exemplo a actividades industriais. O tempo de reverberação de um espaço interior, para além de depender dos objectos que existam dentro desse espaço, dependerá do coeficiente de absorção dos revestimentos das paredes e da geometria dos espaços.

4.2.2.6. Economia de energia

Os revestimentos, quando com características de isolamento térmico, poderão melhorar o desempenho térmico das paredes de fachada, de forma a reduzir os gastos energéticos pelas necessidades de aquecimento ou arrefecimento. Em paredes exteriores com elevada massa, como é o caso das paredes de alvenaria com unidades de grande formato, os revestimentos de isolamento térmico colocados pelo exterior fazem com que o tosco da parede contribua para a inércia térmica do edifício, melhorando o seu desempenho energético.

Para além do isolamento térmico dos materiais de construção, outro parâmetro relativo à economia de energia diz respeito à energia necessária ao seu fabrico (energia incorporada de um material). Hoje, as preocupações actuais com os gastos energéticos e consequentes emissões de CO₂ exigem que este parâmetro seja tido em consideração, aquando da escolha e definição da solução de parede e de revestimento. Actualmente existem esforços no sentido de desenvolver legislação europeia que obrigue à declaração por parte dos fabricantes da energia incorporada de cada material produzido. A energia incorporada dos materiais de construção dependerá muito dos processos de fabrico e das matérias-primas utilizadas. Alguns dos materiais com características de isolamento térmico têm por base a utilização de petróleo na sua composição e requerem muita energia para o seu fabrico. Outros materiais com menor necessidade de transformação permitem obter resultados idênticos ou superiores com gastos energéticos de produção muito mais reduzidos.

4.2.3. Revestimentos exteriores

Os revestimentos exteriores mais utilizados em Portugal são os rebocos tradicionais e não-tradicionais de ligantes hidráulicos, os revestimentos cerâmicos colados e os revestimentos de pedra natural (por fixação mecânica directa ou independente, mas também, em menor número, colados

directamente ao suporte). Os revestimentos delgados sobre isolamento térmico são cada vez mais utilizados, não só em reabilitação como em construções novas, resultado da entrada em vigor de regulamentação térmica mais exigente. No quadro que se apresenta em baixo sintetizam-se algumas das especificações a ter em consideração no projecto e durante a execução de alguns destes revestimentos [Quadro V e Quadro VI].

Quadro V: Especificações relativas à constituição e regras de qualidade de alguns revestimentos exteriores

Revestimentos	Constituição	Camadas constituintes	Regras de qualidade
Reboco tradicional de ligantes hidráulicos	Ligantes; Areias; Água; Adjuvantes; Armadura de reforço; Armadura de suporte.	Crespido; Camada de base; Camada de acabamento.	Planeza; Verticalidade; Aderência ao suporte; Permeabilidade à água; Compatibilidade com o suporte; Resistência à fendilhação.
Reboco não tradicional de ligantes hidráulicos	Ligantes; Inertes minerais; Adjuvantes; Cargas leves; Fibras; Pozolanas.	Camada única executada em duas demãos, sendo que por vezes é necessário a aplicação de uma camada de acabamento.	Resistência à fendilhação; Impermeabilização em zona não fendilhada; Durabilidade.
Revestimentos cerâmicos colados	Elementos cerâmicos; Argamassa tradicional de assentamento; Material para a colagem; Produto para o refechamento das juntas; Mastique.	Camada de regularização e assentamento; Aplicação dos ladrilhos cerâmicos; Refechamento das juntas entre ladrilhos.	Estanquidade à água; Permeabilidade ao vapor de água; Aderência ao suporte; Compatibilidade com o suporte; Durabilidade.
Revestimentos de pedra natural por fixação mecânica directa ou independente	Argamassa; Fixações; Placas de pedra natural.	Caixa-de-ar: $e \geq 20$ mm; Pedra natural: $e \geq 27$ mm.	Estabilidade; Durabilidade.

Quadro VI: Especificações relativas à aplicação em obra e cuidados de manutenção dos revestimentos

Revestimentos	Aplicação em obra	Manutenção e reparação
Reboco tradicional de ligantes hidráulicos	Suportes necessitam de ser humedecidos antes da aplicação da 1ª camada de revestimento; Os revestimentos não devem ser aplicados quando estiver a chover, houver risco de congelação, temperatura ambiente muito elevada, houver vento forte e seco ou paramentos expostos a radiação solar directa; As camadas do revestimento não devem secar rapidamente, humedecendo-as se necessário; O revestimento deve ser aplicado por faixas horizontais iniciando-se na parte superior; Quando existirem materiais contíguos diferentes a revestir deve aplicar-se ao longo dessa junção uma tira metálica protegida contra a corrosão, que se prolongue 15 cm para cada um dos lados.	Antes da reparação dos danos será necessário detectar e eliminar as causas; Deve alargar-se a área do novo revestimento a efectuar até zonas de elementos salientes ou até juntas de dilatação ou então realizando todo o painel resultante do esquartelamento do paramento.
Reboco não tradicional de ligantes hidráulicos	Não se deve aplicar o revestimento quando a temperatura ambiente for inferior a 5 °C, estiver a chover, estiver vento forte, quente e seco, ou paramentos expostos a radiação solar directa; A aplicação só deve ser iniciada após um mês a execução das paredes; O revestimento deve ser interrompido em toda a sua espessura nas juntas estruturais; Quando se executam grandes superfícies deve interromper-se a aplicação ao longo das arestas ou então deve proceder-se ao esquartelamento em painéis; Sempre que os suportes sejam heterogéneos o revestimento deve ser interrompido ao longo das zonas de transição entre os materiais; Em alternativa pode ser aplicado em continuidade desde que seja armado ao longo dessas junções com rede de fibra de vidro.	A reparação em áreas localizadas pode ser efectuada através da aplicação de um novo produto, após extracção completa do revestimento antigo; Para que o aspecto final não seja inaceitável, a reparação deve estender-se a uma área delimitada por arestas do paramento ou a um painel de esquartelamento.
Revestimentos cerâmicos colados	Suporte deve estar isento de substâncias que possam prejudicar a aderência do revestimento aquando da sua aplicação; A aplicação do revestimento deve começar duas semanas após a conclusão do reboco; O assentamento dos ladrilhos pode ser efectuada através de argamassas tradicionais ou com colas não tradicionais; Quando for necessário melhorar a aderência dos ladrilhos deve aplicar-se pelo tardo um salpico de areia grossa de traço 1:2 (cimento: areia).	

Revestimentos de pedra natural por fixação mecânica directa ou independente	Marcação na parede dos locais onde irão ser executados os chumbadouros de argamassa; Abertura dos furos na parede; Limpeza e humedecimento dos furos; Preenchimento dos furos com argamassa e execução simultânea dos pontos de argamassa; Encosto das placas de modo a inserir os agramos nos chumbadouros (os agramos vêm fixados às placas), estando ainda fresca a argamassa dos chumbadouros; Aprumo e alinhamento das placas, mediante a introdução de cunhas de madeira nas juntas entre placas; Preenchimento, eventual, das juntas entre placas.	
---	--	--

4.3. Exigências aplicáveis a paredes de alvenaria

Tendo-se já apresentado algumas exigências aplicáveis especificamente aos revestimentos, interessa agora reunir algumas das exigências específicas do tosco, em paredes de alvenaria (sobretudo com funções estruturais), assim como as exigências aplicáveis ao conjunto dos elementos da parede (tosco mais revestimentos). Às paredes de alvenaria, com principal relevo nas paredes exteriores, aplicam-se uma série de exigências funcionais e de desempenho, das quais se poderão destacar as seguintes:

- resistência mecânica e estabilidade;
- segurança ao fogo;
- conforto acústico;
- conforto termohigrométrico;
- estanquidade à água da chuva;
- durabilidade;
- integração de redes e instalações.

A exigência de resistência mecânica e estabilidade aplica-se a todo o tipo de paredes, embora tenha muito maior importância em paredes com funções estruturais, nomeadamente em paredes de alvenaria resistente (simples, armada ou confinada). Esta exigência estabelece uma série de regras

de dimensionamento e disposições construtivas, definidas em normas e regulamentos, para a execução de paredes de alvenaria.

As exigências de segurança ao fogo e de conforto acústico, embora se apliquem também às partes opacas das fachadas, não são tão relevantes no caso de paredes de alvenaria, uma vez que os materiais de que são feitas as unidades de alvenaria e a sua grande espessura na parede garantem facilmente o cumprimento destas exigências. Estas exigências aplicam-se sobretudo aos vãos (portas e janelas), por onde se dá normalmente a propagação do fogo e a passagem de ruído.

O conforto termohigrométrico é particularmente importante no caso das paredes de fachada, com principal relevo nas partes opacas das mesmas, uma vez que a sua massa e posição específica (entre interior e exterior) permitem que contribua decisivamente para a inércia térmica do edifício. Nesta exigência, para além da inércia térmica, será necessário que a parede cumpra os requisitos de isolamento térmico e, conseqüentemente, de secura dos paramentos (humidade resultante de condensações superficiais).

Toda a envolvente das construções, incluindo naturalmente as paredes exteriores, deve reduzir ao mínimo os efeitos causados pela incidência directa da água da chuva. A exigência de estanquidade à água da chuva tem por objectivo reduzir a possibilidade de infiltrações de água para o interior da construção, devido à conjugação da chuva com o vento, assim como evitar infiltrações no seio das paredes que provoquem o seu humedecimento prolongado (originando a deterioração das mesmas). Para tal, as soluções construtivas (incluindo o tosco e seus revestimentos) deverão estar adequadas às condições locais da conjugação entre chuva incidente e vento.

A durabilidade é uma exigência comum a todos os elementos de uma construção, com particular importância nos elementos da estrutura. A durabilidade é naturalmente garantida em paredes de alvenaria que cumpram o resto das exigências (nomeadamente o conforto termohigrométrico e a estanquidade à água).

A integração de redes e instalações embebidas no tosco é particularmente importante em paredes estruturais de alvenaria, uma vez que a execução de roços e cavidades pode comprometer com gravidade a estabilidade e resistência da parede. Para a execução destes canais para passagem de instalações embebidas em paredes de alvenaria, existem algumas regras de dimensionamento e execução em normas e regulamentos que devem ser atendidos.

Dentro deste conjunto de exigências, irão desenvolver-se resumidamente as de maior influência na concepção de paredes de alvenaria com unidades de grande formato, sobretudo em situação de fachada e com função estrutural, sendo estas as exigências de resistência mecânica e estabilidade, conforto termohigrométrico, estanquidade à água da chuva e integração de instalações embebidas.

4.3.1. Resistência mecânica e estabilidade

As paredes de alvenaria devem ser concebidas de forma a satisfazerem a segurança estrutural durante todo o ciclo de vida de uma construção, atendendo ao conjunto de acções actuantes sobre as mesmas ao longo desse período. As acções a considerar serão diferentes conforme as paredes tenham ou não função estrutural, devendo em qualquer dos casos assegurar-se a verificação da estabilidade para o conjunto de acções que lhe são aplicáveis. Nesse sentido, é importante garantir na fase de concepção a interacção das paredes de alvenaria com toda a estrutura da qual faz parte, definindo uma espessura adequada da parede relativamente à sua altura e comprimento, para que se obtenha a necessária rigidez e estabilidade da mesma. De acordo com o documento de apresentação do futuro Regulamento Geral das Edificações (RGE [64]), onde se apresenta a proposta de revisão do RGEU [63], entre outros requisitos refere-se que as paredes exteriores de alvenaria devem ter uma espessura mínima de 25cm.

A articulação das paredes de alvenaria com a estrutura do edifício e o desenvolvimento das mesmas entre juntas de dilatação deverão ser particularmente estudadas, de forma a evitar a sua fissuração. Na Parte 2 do Eurocódigo 6 [47] são apresentadas algumas recomendações relativas ao espaçamento que deve ser adoptado entre as juntas de movimento em paredes de alvenaria. Neste documento é referido que o espaçamento horizontal das juntas de movimento verticais deve ter em atenção o tipo de parede, as unidades de alvenaria, a argamassa e os detalhes construtivos, especificando algumas distâncias entre juntas a atender na execução de paredes de alvenaria com determinados tipos de unidades.

Na Parte 1 do Eurocódigo 6 [46], para projecto de estruturas de alvenaria, não é especificada uma espessura mínima para paredes de alvenaria resistentes. No entanto, no anexo nacional do EC6 [58] refere-se um valor mínimo para a espessura destas paredes de 15cm, por forma a compatibilizar com a Parte 1 do Eurocódigo 8 [48], para projecto de estruturas sismo-resistentes. Por outro lado, na Parte 1 do Eurocódigo 6 [46] refere-se que o coeficiente de esbelteza é o quociente entre a altura e a espessura efectivas da parede de alvenaria, não devendo apresentar um valor superior a 27 para paredes resistentes de alvenaria sujeitas essencialmente a cargas verticais.

Ainda relativamente às características geométricas das paredes resistentes, no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 [59] referem-se alguns valores de espessuras mínimas e de esbelteza máxima em função do tipo de parede [Quadro VII].

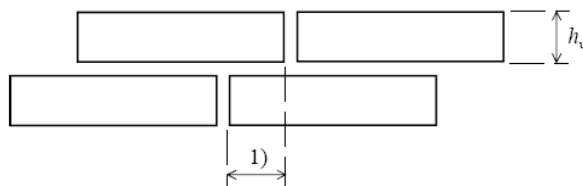
Quadro VII: Requisitos geométricos em paredes resistentes, de acordo com o Anexo Nacional do EC8 [59]

Tipos de alvenaria	$t_{ef,min}$ (mm)	$(h_{ef} / t_{ef})_{max}$	$(l/h)_{min}$
Alvenaria simples	240	10	0,4
Alvenaria confinada	150	16	0,4
Alvenaria armada	150	16	0,3

t_{ef} - espessura efectiva da parede (ver EN1996.1.1:2005); h_{ef} - altura efectiva da parede (ver EN1996.1.1:2005)

h - a maior das alturas livres das aberturas adjacentes à parede; l - comprimento da parede

No que diz respeito ao assentamento das unidades de alvenaria, na Parte 1 do Eurocódigo 6 [46] refere-se que, em paredes de alvenaria simples, as unidades devem ser sobrepostas de modo a desfazar as juntas verticais entre fiadas de alvenaria, de modo a que a alvenaria se comporte como um único elemento estrutural. Assim, as unidades de alvenaria com uma altura menor ou igual a 250mm devem sobrepor-se na horizontal num comprimento mínimo igual a 40% da altura das unidades ou 40mm, o maior dos dois valores [Figura 51]. No caso de unidades com uma altura superior a 250mm, a sobreposição mínima entre fiadas deve ser igual ao maior de dois valores, 20% da altura da unidade ou 100mm. No entanto, no mesmo documento é referido que no caso de alvenaria armada admite-se que estas regras possam não ser cumpridas, desde que a experiência ou resultados de ensaios garantam que o comportamento da alvenaria é satisfatório.



Quando $h_u \leq 250\text{mm}$: sobreposição 1) $\geq 0,4 h_u$ ou 1) = 40mm, o valor que for mais alto.

Quando $h_u > 250\text{mm}$: sobreposição 1) $\geq 0,2 h_u$ ou 1) = 100mm, o valor que for mais alto.

Figura 51: Esquema de sobreposição de unidades de alvenaria, de acordo com o EC6 [46]

No que diz respeito às juntas de argamassa, o Eurocódigo 6 [46] refere que a espessura das juntas, tanto horizontais como verticais, não deverá ser inferior a 6mm nem superior a 15mm, no caso de argamassas correntes ou leves, nem inferior a 0,5mm e superior a 3mm, no caso de argamassas cola. Segundo este documento, as juntas verticais são consideradas preenchidas se a argamassa for colocada a toda a altura das unidades e numa largura não inferior a 40% da espessura das unidades. Em alternativa ao preenchimento das juntas verticais com argamassa, os sistemas de encaixe

macho-fêmea podem ser utilizados desde que garantam uma resistência ao corte pelo menos igual à de uma junta preenchida.

No entanto, no caso de alvenaria armada submetida à flexão e ao corte, as juntas verticais deverão estar completamente preenchidas com argamassa. A armadura de junta horizontal deverá possuir um recobrimento lateral mínimo de 15mm e a sua espessura deverá ser, pelo menos, 5mm superior ao diâmetro da armadura [Figura 52]. De acordo com o Eurocódigo 8 [48] as armaduras de reforço deverão ser colocadas com um espaçamento vertical máximo de 60cm. Os Eurocódigos referem também algumas percentagens de áreas mínimas de secção das armaduras de junta, consoante o fim a que se destinam e o tipo de alvenaria.

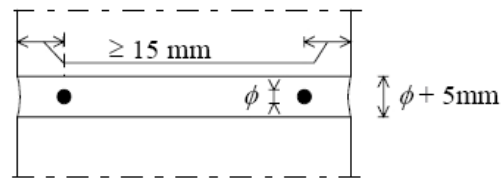


Figura 52: Recobrimento das armaduras de junta, de acordo com o EC6 [46]

No que diz respeito às paredes de alvenaria confinada, estas devem ser reforçadas com elementos verticais e horizontais de betão armado, para que se comportem como um único elemento estrutural quando sujeitas a acções. Segundo o Eurocódigo 6 [46], os elementos de confinamento em betão armado devem encontrar-se ao nível de cada pavimento, em todas as intercepções entre paredes e de ambos os lados dos vãos (com uma área superior a $1,5\text{m}^2$). Estes elementos de confinamento devem ainda ter um afastamento máximo de 4m, tanto na vertical como na horizontal. Segundo o mesmo documento, os elementos de confinamento devem ter uma área de secção transversal não inferior a $0,02\text{m}^2$, com uma dimensão mínima de 15cm no plano da parede (em cada um dos lados).

No anexo nacional do Eurocódigo 8 [59] referem-se os grupos de unidades de alvenaria que devem ser utilizados em função do tipo de construção em alvenaria [Quadro VIII]. Segundo este documento, as estruturas de alvenaria simples são indicadas apenas para zonas consideradas de baixa sismicidade ($\text{ag.S} \leq 0,10\text{kg}$) e se realizadas com unidades do Grupo 1. Os grupos de unidades de alvenaria são definidos na Parte 1 do Eurocódigo 6 [46] e referem-se à percentagem de furação e outras características geométricas dos blocos.

Quadro VIII: Tipos de construção e valores máx. dos coef. de comportamento, de acordo com o DNA do EC8 [59]

Tipo de construção	Grupo de unidades	Coefficiente de comportamento
Alvenaria simples	Grupo 1	1,5
Alvenaria confinada	Grupos 2, 3 e 4	2,2
	Grupo 1	2,5
Alvenaria armada	Grupos 2, 3 e 4	2,7
	Grupo 1	3,0

4.3.2. Conforto termohigrométrico

O conforto termohigrométrico de uma construção avalia-se, antes de mais, pela sua capacidade de controlar o ambiente interior, produzindo no utilizador a sensação de satisfação com o ambiente térmico que o rodeia. Esta condição depende de vários factores externos ao ser humano, como a temperatura, a velocidade e a humidade do ar, factores estes que estando inter-relacionados não poderão ser avaliados isoladamente.

Um dos aspectos que está relacionado com o comportamento termohigrométrico das paredes exteriores tem a ver com a possibilidade de ocorrência de condensações na superfície interior da parede ou, no caso de paredes duplas, nas superfícies internas da caixa-de-ar. A ocorrência de condensações nas paredes tem diversos tipos de implicações: a degradação visual das superfícies (exigência de aspecto), o desenvolvimento de bolores (contribuindo para a má qualidade do ar interior), ou a degradação física dos materiais de construção (podendo afectar inclusivamente a segurança estrutural de uma parede). Destaca-se a degradação física dos materiais, que ao reduzir o tempo de vida útil dos elementos de construção, tem implicações na economia e sustentabilidade das soluções de fachada.

A temperatura superficial interior de uma parede de fachada deverá ser suficientemente alta para prevenir o fenómeno da condensação superficial, exigindo-se o adequado isolamento da parede, quer seja através da capacidade de isolamento intrínseca do seu tosco, quer seja através da introdução de materiais de isolamento térmico (preferencialmente pelo exterior, de modo a que o tosco da parede contribua para a inércia térmica do edifício). Uma das principais vantagens da construção dita “maciça”, com paredes exteriores simples de elevada massa térmica, é que o gradiente de temperaturas no interior das paredes de fachada é contínuo e regular, evitando diferenças acentuadas de temperatura entre camadas (ou nas superfícies) que poderão dar origem a condensações [Figura 53].

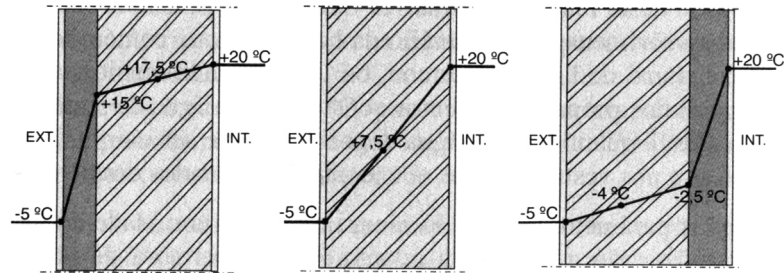


Figura 53: Variação da temperatura média no interior da fachada consoante a posição do isolamento térmico [1]

De modo a evitar as condensações superficiais interiores existem essencialmente os seguintes processos [11]:

- aumentar o isolamento térmico da parede exterior;
- aumentar a higroscopicidade dos revestimentos interiores, passando estes a ter maior contribuição para a redução da humidade relativa do ar interior;
- controlar a produção de humidade (sobretudo de banhos e cozinhas em habitação) e aumentar a ventilação dos espaços interiores.

Dois dos aspectos que estão mais directamente relacionados com a exigência de economia e sustentabilidade, relativamente à parte opaca de uma parede de fachada, dizem respeito ao isolamento térmico e à inércia térmica de determinada solução, que permitem em conjunto reduzir os consumos energéticos com aquecimento e arrefecimento do ambiente interior. No que diz respeito ao isolamento térmico de uma parede exterior, no RCCTE [62] referem-se os valores máximos admissíveis para o coeficiente de transmissão térmica “U” da solução de parede, em função de três Zonas Climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) em que o país se divide.

O coeficiente de transmissão térmica representa a quantidade de calor (W) que, por unidade de tempo, atravessa uma dada superfície de área unitária (m^2) por unidade de diferença de temperatura ($^{\circ}C$), entre os ambientes que separa (p.ex. interior e exterior). Os valores máximos referidos no regulamento para o coeficiente “U” em zona corrente da parede de fachada são os que se apresentam no quadro em baixo [Quadro IX], divididos pelas respectivas Zonas Climáticas de Inverno. Atendendo ao clima existente em Portugal, a situação de Inverno (estação de aquecimento) tem particular relevância, sendo-lhe dada maior atenção do que à situação de Verão (estação de arrefecimento).

Quadro IX: Valores máximos do coeficiente “U” ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a zona corrente de paredes exteriores (RCCTE [62])

Zonas opacas verticais		Zona climática			
		I ₁	I ₂	I ₃	RA *
Elementos exteriores	Valor máximo de referência	0,70	0,60	0,50	1,40
	Valor máximo admissível	1,80	1,60	1,45	-
Elementos interiores **	Valor máximo de referência	1,40	1,20	1,00	2,00
	Valor máximo admissível	2,00	2,00	1,90	-

* Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, apenas para edifícios na Zona I₁

** Para outras zonas anexas não úteis (locais não aquecidos)

No que diz respeito ao tratamento das pontes térmicas (zona não corrente da parede exterior), o RCCTE [62] introduz exigências e metodologias de quantificação com eventuais implicações nas actuais práticas construtivas de paredes. As pontes térmicas planas são consideradas heterogeneidades construtivas e térmicas nas quais se admite que o fluxo térmico é unidimensional e perpendicular à superfície. As pontes térmicas planas acontecem não só na zona de pilares e vigas em betão armado (em estruturas porticadas ou em alvenaria confinada), como por exemplo em talões de vigas, lintéis, caixas de estores e outras superfícies heterogéneas [Figura 54]. Com o principal objectivo de prevenir a ocorrência de condensações superficiais na zona das pontes térmicas planas, no RCCTE são referidas duas exigências específicas aplicáveis ao valor admissível para o coeficiente “U” de transmissão térmica nestes elementos:

- o coeficiente “U” não pode ser superior aos valores máximos definidos para a zona corrente da parede;
- o coeficiente “U” não pode ser superior ao dobro do valor do coeficiente “U” da zona corrente da parede na qual a ponte térmica plana se insere.

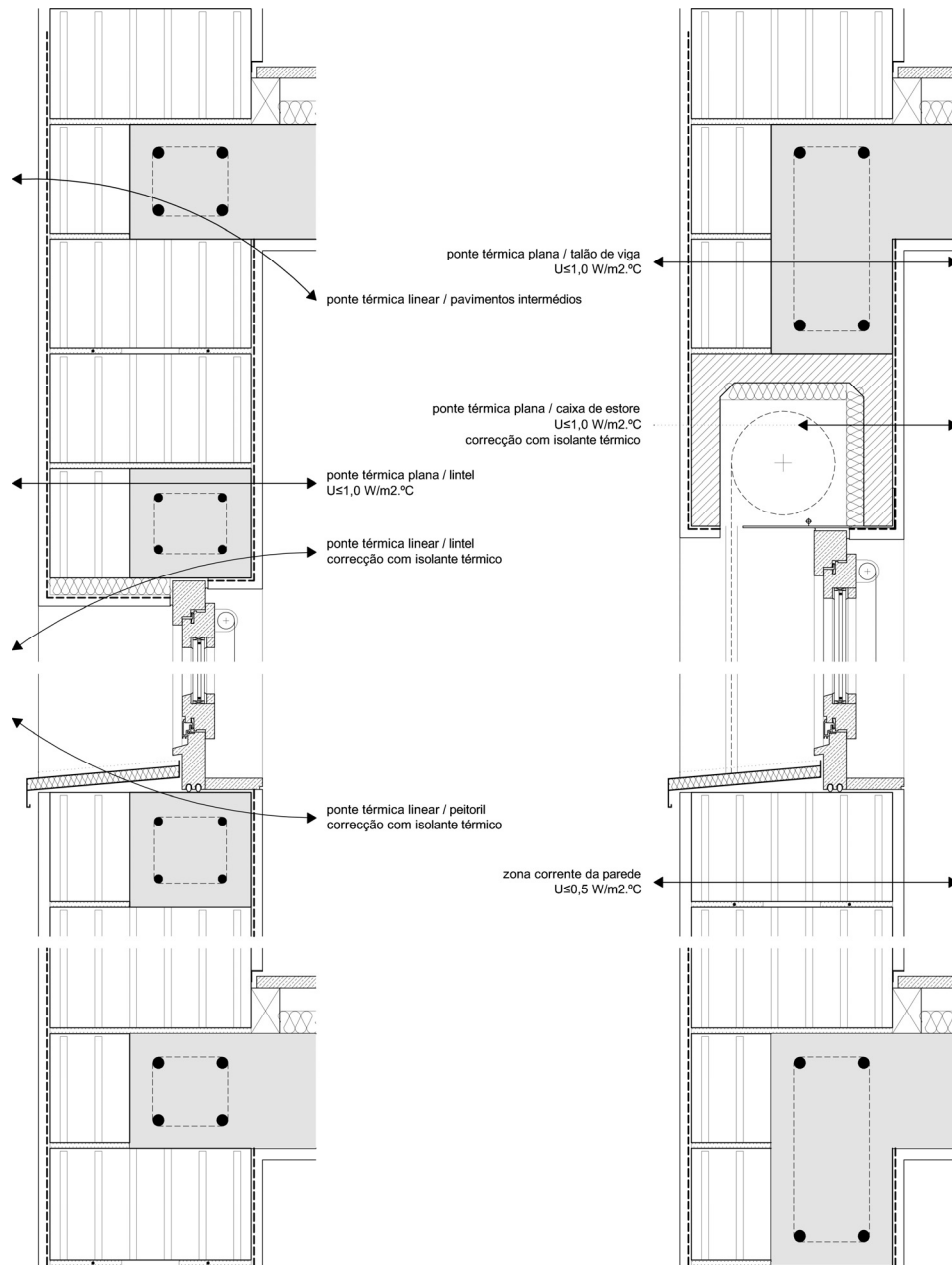


Figura 54: Cortes construtivos com situações típicas de pontes térmicas numa fachada em Zona Climática I₃

A inércia térmica descreve a reacção do interior do edifício às oscilações do fluxo de calor que acontecem durante o período diurno e nocturno. As variações de temperatura no interior de um edifício podem ser atenuadas pela inércia térmica das suas paredes [Figura 55], assim como dos restantes elementos de construção, contribuindo para a redução dos consumos energéticos tanto em situação de Inverno (aquecimento ambiente) como em situação de Verão (arrefecimento ambiente).

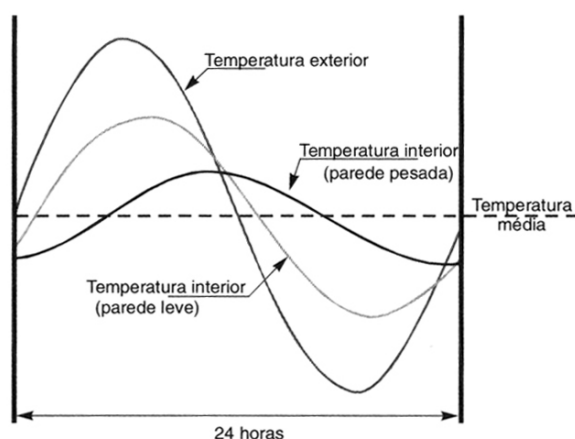


Figura 55: Amortecimento e desfasamento da onda de temperatura exterior provocados por uma parede de fachada [1]

Para a classificação da inércia térmica interior de determinada construção, para além das paredes exteriores de fachada, no RCCTE [62] considera-se a contribuição de elementos como as lajes de tecto e pavimento, ou por exemplo as paredes interiores. As paredes exteriores, pela sua situação particular de exposição ao clima, através da sua inércia térmica poderão ter uma contribuição muito positiva para o comportamento térmico de determinada construção, fazendo reduzir os consumos energéticos resultantes do aquecimento ambiente.

Quando a energia é acumulada numa parede de fachada, a difusão de calor será quase imediata na face que esteve sujeita à radiação. Na face oposta, até que o calor seja também liberto, existirá um desfasamento de tempo [1]. Este desfasamento de tempo é influenciado pela inércia térmica da parede, e a sua duração óptima deverá situar-se entre seis e dez horas. No Inverno, as paredes com boa inércia térmica captam e armazenam a energia para a libertar durante a noite, quando as temperaturas interiores tendem a descer. No Verão, desde que devidamente compensado com adequadas estratégias de arrefecimento por ventilação nocturna, este efeito “esponja” permite controlar os efeitos do sobreaquecimento diurno.

Em paredes com materiais de isolamento térmico, a colocação dos mesmos é determinante no comportamento térmico da parede. A colocação de isolamento térmico pelo interior da fachada, em determinadas situações, poderá ser pior do que a sua não utilização, uma vez que impedirá que a parede participe da inércia térmica dos espaços interiores e, portanto, deixe de funcionar como uma espécie de “pilha” de calor [1]. Por outro lado, a colocação dos materiais de isolamento térmico pelo exterior é grande parte das vezes vantajosa. No Inverno, esta situação permite que a parede retenha por mais horas o calor criado durante o dia no interior do edifício, através da actividade humana e dos aparelhos domésticos. No Verão, o isolamento pelo exterior reduz significativamente a quantidade de calor retida pela parede com origem na radiação solar.

4.3.3. Estanquidade à água da chuva

O mecanismo de penetração da água está associado à quantidade, tipo e dimensão dos poros constituintes da parede, à sua capacidade para absorver a água superficial dos paramentos (que por gravidade percorre a parede de fachada) e sobretudo à ocorrência de fissuras, em que a simples acção da gravidade, ou a acção conjugada da chuva e do vento, asseguram um caminho privilegiado para a penetração da água para o seu interior. A existência de descontinuidades nas paredes exteriores de alvenaria, materializadas por câmaras de ar ou pela execução de juntas de argamassa de assentamento descontínuas, são importantes em termos de estanquidade à água da chuva, uma vez que funcionam como cortes de capilaridade, dificultando o percurso da água para o interior.

Na análise do comportamento das paredes à água da chuva há que considerar os seguintes factores:

- clima e exposição do local;
- constituição dos revestimentos;
- constituição do tosco da parede (como as características dos elementos, espessuras do pano, tipo de juntas e argamassas de assentamento);
- configuração arquitectónica do edifício;
- qualidade de execução da obra.

Em diversos países existem zonamentos e classificações sob o ponto de vista da chuva incidente devido à acção do vento (índice de chuva incidente e índice de chuva incidente persistente). A partir destas classificações é possível, em função da localização geográfica e do grau de exposição, seleccionar as soluções construtivas mais adequadas para as paredes. O índice de chuva incidente resulta do produto dos valores médios anuais de precipitação (m) pela velocidade do vento (m/s), para cada direcção considerada. O índice de chuva incidente persistente, para a direcção considerada, resulta do produto dos valores médios anuais de precipitação (m) pela velocidade do vento (m/s) e por um factor adimensional, função da velocidade e direcção do vento.

Os revestimentos apresentam uma contribuição fundamental na satisfação dos requisitos de estanquidade à água da chuva, podendo utilizar-se revestimentos de estanquidade ou revestimentos de impermeabilização. Os revestimentos de estanquidade conseguem, em geral, garantir por si só a estanquidade à água exigível para o conjunto do tosco mais revestimento. Estes revestimentos

mantêm as suas características de estanquidade mesmo no caso da ocorrência de fissuração (limitada) do suporte.

Os revestimentos de impermeabilização conferem uma protecção menor, sendo a estanquidade assegurada pelo conjunto do tosco mais revestimento. Embora este tipo de revestimento limite a quantidade de água que atinge o suporte, é o conjunto dos elementos da parede que assegura a estanquidade exigida. A conservação deste tipo de revestimentos depende do comportamento do suporte (tosco), não conseguindo manter a capacidade de impermeabilização quando ocorre uma degradação excessiva do mesmo, como por exemplo em situações de grande fissuração.

Os revestimentos, sobretudo no caso de paredes simples, influenciam de forma significativa o desempenho das paredes exteriores em relação à estanquidade à água da chuva, de tal forma que a regulamentação francesa (norma DTU 20.1 [43]) interdita a utilização de paredes exteriores sem revestimento, com excepção da alvenaria de pedra. Na Grã-Bretanha, a norma BS 5628 [37] prevê a possibilidade de utilização de paredes exteriores sem revestimento apenas em zonas consideradas abrigadas. De referir que os elementos cerâmicos têm na Grã-Bretanha geometrias diferentes das adoptadas em Portugal, pelo que, mesmo que as condições de exposição fossem idênticas às existentes em Portugal, a definição de espessuras propostas na norma inglesa BS 5628 [37] não seria aplicável a Portugal.

O documento normativo francês DTU 20.1 [43], mais de acordo com a realidade portuguesa (uma vez que existe maior proximidade entre materiais e soluções construtivas adoptadas), estabelece a espessura das paredes exteriores em função dos seguintes factores:

- Localização da construção no interior de grandes centros urbanos, no interior de pequenos aglomerados ou periferia de grandes centros, isolada em zona rural, ou isolada junto ao mar;
- Altura da parede acima do solo menor ou igual a 6m, entre 6 e 18m, entre 18 e 28m, entre 28 e 50m, ou entre 50 e 100m;
- Existência de protecção, sendo alternativamente parede abrigada ou não abrigada.

No caso de paredes simples em alvenaria com unidades de betão, as espessuras mínimas recomendadas na norma francesa DTU 20.1 [43] são as constantes do quadro que se apresenta em baixo [Quadro X], sendo que as paredes deste tipo devem ser sempre revestidas.

Quadro X: Espessuras de paredes simples em alvenaria com blocos de betão, de acordo com a norma DTU 20.1 [43]

Situação da parede	Espessura mínima de tosco (mm)	
	Un. agregados correntes	Un. agregados leves
Abrigada	200	225
Não abrigada até 6m	200 ¹	225 ¹
Não abrigada entre 6 e 18m	275 ¹	225 ¹
Não abrigada entre 18 e 28m	325 ¹	225 ¹
Não abrigada, isolada junto ao mar, até 6m	275 ²	275 ²

1 - Excepto junto ao mar

2 - Excepto em frente ao mar, na primeira linha de construção

4.3.4. Integração de redes e instalações

Os roços e cavidades para infraestruturas não devem comprometer a estabilidade da parede de alvenaria, devendo-se evitar a sua localização em zonas críticas da parede (p.ex. em lintéis). Estes canais devem ser alvo de um planeamento rigoroso dos seus traçados, de modo a não provocar a fragilização da parede. Os roços horizontais e inclinados são os que mais fragilizam as paredes de alvenaria e, portanto, devem ter uma atenção especial. No caso de ser necessário realizá-los, deverão ser executados a uma altura correspondente a 1/8 do pé-direito total, acima ou abaixo do nível dos pavimentos. Na Parte 2 do Eurocódigo 6 [47] refere-se a profundidade máxima que os roços horizontais ou inclinados devem apresentar em paredes estruturais de alvenaria [Quadro XI].

Quadro XI: Profundidade máxima de roços horizontais e inclinados, de acordo com o EC6 [47]

Espessura da parede (mm)	Profundidade máxima (mm)	
	Comprimento ilimitado	Comprimento ≤ 1250mm
85 - 115	0	0
116 - 175	0	15
176 - 225	10	20
226 - 300	15	25
Acima de 300	20	30

De acordo com o Eurocódigo 6 [47], os roços verticais que não se prolonguem por mais de 1/3 da distância entre pisos acima do nível do pavimento e em paredes com espessura igual ou superior a 225mm, podem ter uma profundidade até 80mm e uma largura até 120mm. No entanto, a largura total dos roços e das cavidades verticais não deverá ser superior a 13% do comprimento total da parede. O distanciamento horizontal entre roços verticais contíguos, ou entre um roço e uma cavidade ou uma abertura na parede não deve ser inferior a 225mm. A distância horizontal entre duas cavidades contínuas, quer estejam do mesmo lado da parede ou em lados opostos, ou entre uma cavidade e uma abertura, não deve ser inferior ao dobro da largura da cavidade mais larga.

Ainda de acordo com o mesmo documento, em paredes com espessura superior a 115mm, a profundidade permitida dos roços pode ser aumentada em 10mm se o roço for executado com precisão, recorrendo a máquinas próprias para o efeito. Neste caso, em que se utilizam máquinas que oferecem um maior rigor na execução, podem ser executados roços até 10mm de profundidade em ambos os lados da parede com espessura não inferior a 225mm. No quadro que se apresenta em baixo [Quadro XII] mostram-se algumas dimensões máximas recomendadas no Eurocódigo 6 [47] para a execução de roços e cavidade verticais.

Quadro XII: Dimensões máximas de roços e cavidades verticais, de acordo com o EC6 [47]

Espessura da parede (mm)	Roços e cavidades executados após o assentamento da alvenaria		Roços e cavidades executados durante o assentamento da alvenaria	
	Profundidade máxima (mm)	Largura máxima (mm)	Largura máxima (mm)	Espessura mín. remanescente da parede (mm)
85 - 115	30	100	300	70
116 - 175	30	125	300	90
176 - 225	30	150	300	140
226 - 300	30	175	300	175
Acima de 300	30	200	300	215

CAPÍTULO V: Economia e produtividade de sistemas construtivos de alvenaria

No presente capítulo analisa-se o sistema construtivo com alvenaria de pano simples e unidades de grande formato do ponto de vista da sua economia e produtividade, referindo numa primeira parte as vantagens identificadas em relação aos sistemas construtivos correntes em Portugal, e apontando numa segunda parte possíveis caminhos para uma maior competitividade destes sistemas. Assim, referem-se alguns parâmetros a ter em conta no desenvolvimento e utilização dos sistemas de alvenaria, entre os quais a ergonomia no trabalho e a coordenação dimensional modular, enquanto factores de optimização dos mesmos. Com o mesmo objectivo de optimização dos sistemas, no final do capítulo aborda-se a questão dos sistemas de prefabricação, tanto de painéis de alvenaria (com unidades de grande formato) como em sistemas integrados de prefabricação (paredes, lajes e coberturas).

5.1. Considerações gerais

O sector da construção civil em Portugal passou muitos anos sem atribuir a devida importância à questão da economia e produtividade nas obras. As soluções para esse problema foram quase sempre encaradas de uma forma pouco profissional, partindo do princípio que a produtividade era sobretudo responsabilidade do encarregado de obra (da sua capacidade de coordenação geral e de gestão da mão-de-obra), e que a questão económica era facilmente resolvida através da escolha de materiais e soluções económicas, muitas vezes comprometendo a qualidade construtiva.

No entanto, e sobretudo nas empresas de construção com maior dimensão, a racionalização do processo construtivo tem permitido obter melhores resultados, conciliando uma boa qualidade construtiva com elevados ritmos de construção. Esta evolução deve-se, por um lado, à crescente competitividade do mercado da construção em Portugal, obrigando a uma construção optimizada e simultaneamente de maior qualidade. Por outro lado, o processo de internacionalização de algumas destas empresas coloca-as perante novos desafios. Para além da competitividade natural dos mercados internacionais onde estão presentes, as empresas têm de basear a sua gestão em processos mais planeados e automatizados, e portanto menos dependentes do imprevisto ou de decisões *in situ*.

Como resposta às exigências actuais, têm sido desenvolvidas novas tecnologias de construção para aplicação em paredes, pavimentos, coberturas, ou outros elementos de construção. No panorama internacional, desde há já algumas décadas que a prefabricação é um dos meios existentes para obter elevados ritmos de construção. Em Portugal, a prefabricação pesada de

elementos para a construção de edifícios é muito reduzida, tentando-se hoje implementar técnicas de prefabricação leve, que permitam aumentar a produtividade e garantir a boa integração dos diversos elementos de construção. Este tipo de prefabricação (parcial) é utilizada em elementos como pré-lajes, pisos técnicos, painéis de fachada, ou por exemplo paredes interiores leves.

A falta de qualificação da mão-de-obra na construção civil é um dos problemas com que a indústria da construção dos países mais desenvolvidos se debate hoje em dia, sendo este também um factor de improdutividade nas obras. A redução da mão-de-obra em estaleiro, através da prefabricação (total ou parcial) dos elementos de construção, permite aumentar os ritmos de construção, contribuindo ao mesmo tempo para uma melhor qualidade construtiva da obra. Por outro lado, a utilização de elementos de construção especificamente orientados para a execução dos diferentes pontos singulares de uma construção, como é o caso dos sistemas integrados de alvenaria, reduz igualmente a influência da mão-de-obra na qualidade construtiva da obra.

O estudo da economia e produtividade das obras tem particular interesse nas tarefas de construção do tosco, pelo seu peso relativo no custo total da obra, mas sobretudo pela percentagem que diz respeito à mão-de-obra na execução desses trabalhos. Segundo um estudo brasileiro [4], o tosco de paredes exteriores em edifícios habitacionais pode representar algo entre 3,5% a 8%, chegando a 11% em edifícios de baixo custo. O mesmo estudo refere ainda que 50% do custo relativo à obra de tosco diz respeito à mão-de-obra.

5.2. Construção corrente em Portugal

Apesar da utilização frequente de alvenarias em paredes exteriores simples em Portugal até meados da década de 1980, aquando da publicação da regulamentação relativa ao conforto térmico em edifícios (RCCTE [61]), desde então as paredes duplas com caixa-de-ar e isolamento térmico no seu interior vieram substituir esta solução construtiva quase por completo. Apenas com a gradual adopção de sistemas de isolamento térmico pelo exterior, já durante a década de 1990, é que voltam a ser utilizadas as soluções de paredes exteriores simples, muito embora com pouca expressão na realidade portuguesa até à recente entrada em vigor do novo RCCTE [62] no ano de 2006.

O sistema construtivo com estrutura de betão armado e paredes duplas de fachada, apesar do aumento de soluções em paredes exteriores simples, continua a ser muito utilizado nos dias de hoje. Este sistema apresenta uma série de limitações do ponto de vista da economia e produtividade em obra, das quais se poderão destacar as seguintes:

- a necessidade de cofragem da estrutura em betão armado;

- o tempo de secagem do betão, obrigando frequentemente a um período de paragem na obra;
- a dificuldade em construir correctamente dois panos de alvenaria com pouco distanciamento entre eles, e de fixar o isolamento térmico junto ao pano interior;
- a particularidade de cada ponto singular com soluções de correcção das pontes térmicas sempre distintas e de difícil execução.

Do ponto de vista económico, interessa também salientar a ocorrência de patologias neste sistema durante a fase de utilização, obrigando frequentemente a operações de reabilitação que fazem aumentar os custos numa perspectiva de ciclo de vida. Estas patologias estão relacionadas com alterações que foram gradualmente introduzidas neste tipo de paredes ao longo das últimas décadas, das quais se poderão salientar as seguintes [30]:

- introdução de novos materiais e modificação das características de materiais existentes;
- aligeiramento global das paredes;
- alterações tecnológicas no que diz respeito à filosofia de concepção e de técnicas de execução;
- introdução de materiais e acessórios complementares;
- introdução de novos tipos de revestimentos e alterações das características e técnicas de aplicação de revestimentos tradicionais.

Do conjunto de erros de execução de obra mais frequentes, poderão destacar-se os que dizem respeito à má execução da caixa-de-ar, pelos seguintes motivos:

- tamanho reduzido de orifícios de ventilação e de drenagem de águas da caixa-de-ar;
- má execução das caleiras no remate inferior da caixa-de-ar;
- ligações pontuais entre panos de alvenaria através de pontos de argamassa, por entulho que fica acidentalmente no interior da caixa-de-ar, ou por isolamento térmico com fixação deficiente;
- ou a colocação errada de ligadores entre panos de alvenaria, contribuindo para a passagem de água para o interior.

Muitas vezes relacionadas com erros de projecto, poderão ainda salientar-se as patologias que resultam da reduzida espessura dos panos de alvenaria, do deficiente apoio do pano de alvenaria exterior (quer na sua largura quer em altura, por vezes com espaçamentos verticais maiores que três metros), ou da ausência de elementos de reforço das alvenarias (como ligadores e armaduras de junta).

Para além da dificuldade inerente à execução deste sistema construtivo, a redução do tempo de execução da obra resulta frequentemente em decisões que comprometem a sua qualidade construtiva. São disto exemplo o desrespeito do período de secagem do betão armado, a execução gradual das alvenarias dos pisos inferiores para os superiores, ou ainda a não utilização de ligadores e armaduras nos panos de alvenaria. Muitos destes erros devem-se igualmente a estratégias para a redução de custos em materiais de construção, como por exemplo no caso do aligeiramento dos panos de alvenaria (que por vezes chegam a ter apenas 7cm de espessura).

Assim, os requisitos de economia e produtividade resultam frequentemente em situações de não-qualidade nas obras, pois os sistemas e processos construtivos não estão adaptados a esses mesmos requisitos. Surge como inevitável pensar-se na melhoria da organização geral das empresas e na qualificação da mão-de-obra (âmbito da gestão), mas, não menos importante, na rentabilidade dos sistemas, na sua lógica de execução em obra, ou por exemplo na sua adaptação às necessidades dos projectistas (âmbito das tecnologias de construção).

Actualmente observa-se uma crescente utilização das paredes exteriores simples em Portugal, sobretudo com aplicação de isolamento térmico pelo exterior, de modo a cumprir os requisitos do RCCTE [62], nomeadamente no que diz respeito à anulação das pontes térmicas na zona dos elementos estruturais, uma vez que a utilização de estruturas em betão armado continua a predominar em relação a outros sistemas construtivos (sem heterogeneidades construtivas).

Hoje, as duas soluções mais correntes de paredes exteriores simples em Portugal, ambas com aplicação de isolamento térmico pelo exterior do tipo espumas plásticas (poliestireno expandido ou extrudido, ou poliuretano projectado) ou com revestimentos delgados sobre isolante (ETICS), são as alvenarias de tijolo ou bloco vazado (por vezes aligeirados para melhor desempenho térmico), ou, em situações particulares (geometria irregular do edifício, vãos de grande dimensão, consolas, etc.), paredes estruturais em betão armado, sendo esta uma solução de custo mais elevado e, portanto, menos comum.

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior, em fachadas ventiladas ou com revestimentos delgados sobrepostos, têm uma série de vantagens em relação à introdução de isolamentos térmicos na caixa-de-ar, apresentando no entanto algumas limitações que deverão ser tidas em conta na sua definição. Os revestimentos delgados sobre isolante exigem uma execução cuidada (mão-de-obra especializada), são desadequados para o uso em zonas de maior desgaste mecânico (e que

apresentem risco de choque ou de actos de vandalismo), assim como apresentam frequentemente uma rugosidade superficial que origina a fixação de poeiras, degradando o aspecto visual do edifício e obrigando a uma maior manutenção das fachadas. Por outro lado, as fachadas ventiladas, sobretudo em paredes viradas a Norte, são propícias à ocorrência de patologias com origem na caixa-de-ar, devido à ocorrência de condensações que possibilitam a instalação de microorganismos no seu interior. Todos estes factores devem ser considerados na avaliação económica das diferentes soluções construtivas.

5.3. Alvenaria com unidades de grande formato

Como resposta a todas as exigências actuais relativas à economia e produtividade, interessará avaliar soluções que apresentem um maior rendimento que os sistemas construtivos correntes em Portugal, garantindo simultaneamente uma maior facilidade e qualidade de execução da obra (processos intuitivos, especificamente orientados para cada situação de obra). Nesta perspectiva, os sistemas integrados de alvenaria de “nova geração” têm um enorme potencial, uma vez que o carácter multifuncional das suas unidades permite dar resposta às diversas funções que o tosco de uma parede poderá ter. As paredes de alvenaria executadas com este tipo de unidades de grande formato poderão reunir funções tão distintas como a função estrutural, as funções de estanquidade ao ar e à água, as funções de isolamento térmico e acústico, assim como todas as outras funções aplicáveis a paredes exteriores, observando as exigências mais recentes dispostas em regulamentação nacional e europeia.

O carácter multifuncional das unidades de alvenaria de grande formato, para além de permitir obter uma economia de meios (materiais e mão-de-obra) e uma adequada qualidade construtiva, responde também a uma exigência cada vez mais importante nos dias de hoje, a da sustentabilidade (ambiental) na indústria da construção. A elevada durabilidade das alvenarias é comprovada pela existência de inúmeras construções históricas, onde a utilização de unidades cerâmicas (com menores desempenhos mecânicos do que as soluções actuais) permitiu a sua integridade até aos dias de hoje. Por outro lado, a manutenção neste tipo de sistema construtivo é por norma diminuta, sobretudo atendendo à pouco frequente ocorrência de patologias durante a fase de utilização.

Mesmo atendendo ao facto de que a energia incorporada (energia necessária ao fabrico) das unidades de alvenaria é considerável, a não utilização de materiais de isolamento térmico (normalmente derivados do petróleo) torna esta solução de parede simples menos prejudicial ao ambiente que as soluções correntes com isolamentos, permitindo reduzir os consumos energéticos de fabrico, mas também os consumos resultantes do fornecimento e aplicação de diferentes materiais na obra.

Nos sistemas de alvenaria “tradicionais” com tijolos de pequena dimensão, a limitação que lhes é mais reconhecida em termos de produtividade em obra é o trabalho lento e pesado do manuseamento das unidades e montagem da alvenaria, com principal relevo para o espalhamento das argamassas de assentamento e preenchimento das juntas verticais. Acrescido a esse factor, a execução das juntas argamassadas é um trabalho muito susceptível à qualidade da mão-de-obra, estando a sua má execução na origem de muitas das patologias existentes nas alvenarias.

As limitações descritas na execução de alvenarias de modo “tradicional” ou corrente têm sido resolvidas pela introdução de novos instrumentos, técnicas e processos, na construção de alvenarias com unidades da “nova geração”. Poderão destacar-se vários factores de economia e produtividade na construção de alvenarias com unidades de “nova geração”, de entre os quais (1) os relativos à geometria das unidades, (2) os relativos ao sistema integrado de alvenaria, (3) os relativos ao assentamento das unidades, e (4) os relativos ao transporte e movimentação de materiais.

1) Factores relativos à geometria das unidades:

- as suas maiores dimensões fazem com que o número de unidades necessárias para o preenchimento de uma parede seja menor, para além de reduzirem também o número de juntas de assentamento;
- a grande largura das unidades permite garantir, em conjunto com os revestimentos, a estanquidade à água necessária, bem como os comportamentos térmico e acústico exigíveis a paredes exteriores;
- a espessura total de uma parede simples com blocos de alvenaria poderá ser ligeiramente inferior à da “tradicional” parede dupla (normalmente com um mínimo de 38cm), permitindo aumentar a área útil interior da construção;
- os sistemas de encaixe na junta vertical e os orifícios de manuseamento das unidades permitem facilitar a colocação em obra, aumentando a rapidez de assentamento.

2) Factores relativos ao sistema integrado de alvenaria:

- a utilização de peças complementares para resolver os diferentes pontos singulares reduz a necessidade de improvisação, por um lado aumentando a rapidez de execução e por outro melhorando a qualidade construtiva;
- as peças complementares permitem adaptar a alvenaria a uma lógica de coordenação modular, permitindo por um lado manter o desfasamento das juntas verticais entre fiadas, e por outro

adaptar-se facilmente, por exemplo, à modulação dos revestimentos de piso ou de outros elementos de construção;

- as peças complementares permitem ainda o contrafiamento da alvenaria, garantindo um melhor comportamento em zonas de cunhais e remates das paredes, evitando em certas situações o recurso a armaduras de junta;
- as peças de confinamento permitem a realização rápida de elementos estruturais em betão armado, sem necessidade de cofragem;
- as peças com geometrias próprias para a passagem de infra-estruturas diminuem a necessidade de roços na alvenaria, por um lado não prejudicando o seu comportamento mecânico (diminuindo também as patologias associadas) e por outro aumentando a rapidez de execução.

3) Factores relativos ao assentamento das unidades:

- os sistemas de encaixe macheados permitem a execução de juntas verticais secas, reduzindo-se a quantidade de material e o tempo de execução da obra;
- a utilização de argamassas cola na junta de assentamento, no caso de unidades rectificadas, aumenta consideravelmente o rendimento, reduzindo a quantidade de argamassa necessária e o tempo de execução da obra, melhorando simultaneamente o desempenho da alvenaria;
- os utensílios para espalhamento das argamassas, tanto de argamassas “tradicionais” (com junta contínua ou descontínua) como de argamassas cola, aumentam a rapidez de aplicação, permitindo ao mesmo tempo controlar a quantidade de material (reduzindo o desperdício);
- a utilização de armaduras de junta adequadas ao tipo de unidades e de juntas de assentamento diminui o tempo de execução deste tipo de reforços.

4) Factores relativos ao transporte e movimentação de materiais:

- os carrinhos de transporte (eléctricos ou manuais), com capacidade para várias unidades de alvenaria, assim como as pequenas plataformas elevatórias para movimentação e suspensão das unidades até à altura do trabalhador, permitem reduzir esforços e o tempo de execução;
- os andaimes reguláveis em altura, com pequeno estrado a meia altura para distribuição das unidades de alvenaria, adaptam-se à construção da parede;

- os utensílios para manuseamento das unidades, como por exemplo pinças metálicas, permitem reduzir o esforço do trabalhador e o risco de lesão, aumentando também a produtividade.

Com a introdução destas inovações na execução das alvenarias, os rendimentos em obra podem ser consideravelmente alterados, aumentando a competitividade dos sistemas construtivos que têm por base a utilização de alvenarias com unidades de grande formato, sobretudo em construções onde exista uma grande repetição e racionalização dos processos construtivos.

5.4. Custo e rendimento de soluções construtivas

Da pesquisa efectuada, não foram encontrados estudos que permitissem avaliar com rigor a diferença de custo e rendimento de obras com diferentes tipos de sistemas construtivos, adaptados à realidade portuguesa, sobretudo considerando a utilização de unidades de alvenaria de grande formato. As principais razões para este facto são as seguintes:

- a dificuldade em definir um custo médio para os materiais, devido à grande variação e oscilação de preços;
- a dificuldade em avaliar com rigor o rendimento de cada solução, o que obrigaria à execução das diferentes soluções em condições exactamente iguais, e portanto com um ambiente perfeitamente controlado;
- a pouca utilização em Portugal de sistemas de alvenaria com unidades de grande formato, dificultando a obtenção do custo efectivo desta solução (muitas vezes inflacionado pelo desconhecimento e falta de experiência do sistema por parte dos construtores);
- na comparação económica entre diferentes sistemas construtivos, a quantidade de variáveis a considerar é normalmente muito grande (p.ex. fundações, desaterro, drenagens, impermeabilizações, etc.).

Apesar da dificuldade na obtenção de informações rigorosas sobre o custo e rendimento de diferentes soluções construtivas, algumas das referências bibliográficas consultadas permitem fazer uma primeira avaliação comparativa entre soluções. O Laboratório Nacional de Engenharia Civil publica, desde o ano de 1968, a série “Informação sobre custos” designada por “IC1 a IC5 - fichas de rendimentos de operações de construção”, cuja última edição é do ano de 2004 [18]. Os preços e

outras informações são actualizadas em anexos às edições que são publicados sempre que se detectem alterações significativas no mercado da construção em Portugal.

De acordo com a última edição deste documento, as informações de custos e incidência de recursos utilizados nas operações de execução de algumas soluções de parede exterior, escolhidas tendo em conta a sua frequente utilização em Portugal (hipóteses 1 e 2) e a proximidade a uma solução de alvenaria com unidades de grande formato (hipótese 3), são as que constam dos quadros que se apresentam em baixo [Quadro XIII e Quadro XIV]. De referir que o documento não apresenta qualquer solução com unidades de alvenaria de grande formato (para utilização sem isolamentos térmicos adicionais), sendo que a solução mais aproximada é composta por unidades de alvenaria com largura de 25cm (hipótese 3).

Quadro XIII: Custos relativos à operação de execução de 1m² de parede (LNEC [18])

Constituição da parede	Principais recursos	Custo (€/m ²)
Hipótese 1) Parede dupla com: Tijolos furados de 30x20x11cm; Tijolos furados de 30x20x15cm; Juntas de argamassa; Poliestireno extrudido (e=3cm) na caixa-de-ar; Rebocos “tradicionais” no interior e exterior.	Tosco / materiais	10,95
	Tosco / mão-de-obra	20,61
	Custo total do tosco	31,56
	Isolante na caixa-de-ar	12,25
	Revestimentos	15,86
	Custo total	59,67
Hipótese 2) Parede simples com: Blocos de betão de argila expandida 50x20x20cm; Juntas de argamassa; Reboco tradicional no interior; Isolamento tipo “Dryvit” (e=2cm) pelo ext. (ETICS).	Tosco / materiais	9,11
	Tosco / mão-de-obra	7,75
	Custo total do tosco	16,86
	Revestimentos	24,66
	Custo total	41,52
Hipótese 3) Parede simples com: Blocos de betão de argila expandida 50x20x25cm; Juntas de argamassa; Rebocos “tradicionais” no interior e exterior.	Tosco / materiais	10,88
	Tosco / mão-de-obra	9,17
	Custo total do tosco	20,05
	Revestimentos	15,86
	Custo total	35,91

Quadro XIV: Incidência dos principais recursos utilizados no custo directo da operação de construção (LNEC [18])

Operação de construção	Materiais (%)	Equipamentos (%)	Mão-de-obra (%)
Hipótese 1)	35,8	3,2	61,0
Hipótese 2)	56,2	2,6	41,2
Hipótese 3)	50,2	2,6	47,2

Das fichas de custos e rendimentos do LNEC, com as informações sintetizadas nos quadros em cima, poderá constatar-se o seguinte:

- as soluções de paredes simples (hipóteses 2 e 3) são mais vantajosas do ponto de vista económico que a solução “tradicional” de parede dupla (hipótese 1);
- a solução de parede dupla (hipótese 1) tem muito maior incidência do recurso “mão-de-obra” que as soluções em paredes simples (hipóteses 2 e 3);
- a solução de parede simples com revestimento de isolamento térmico pelo exterior (hipótese 2) tem um custo não muito superior ao da solução sem isolamento térmico (hipótese 3), sendo que o acréscimo de custo relativo ao revestimento de isolamento térmico é em parte compensado pelo menor custo dos blocos de menor espessura.

Entre as duas hipóteses de parede simples (hipóteses 2 e 3), a aproximação do custo das duas soluções denota, por um lado, a influência do aumento de dimensão das unidades de alvenaria no custo final da solução e, por outro, o reduzido custo relativo dos revestimentos de isolamento térmico (atendendo à melhoria de desempenho térmico que possibilitam). O custo relativo das unidades de alvenaria, no caso dos blocos com 20cm de largura, é de 8,60€, enquanto que no caso dos blocos com 25cm é de 10,20€.

O valor relativamente aproximado destas duas soluções de parede simples torna a hipótese com revestimento de isolamento térmico pelo exterior mais interessante que a de alvenaria simples sem isolamento, uma vez que a contribuição dos materiais de isolamento para o desempenho térmico de uma parede é muito superior à do aumento de espessura das unidades de alvenaria, permitindo por outro lado resolver as situações de pontes térmicas planas da fachada. Por outro lado, para além desta solução ir de encontro às exigências do RCCTE [62], o aumento de espessura dos materiais de isolamento não se reflecte significativamente no custo da solução, ou seja, com um acréscimo moderado de custo consegue-se obter desempenhos térmicos muito superiores.

Para as soluções de parede exterior consideradas, a mesma publicação do LNEC [18] apresenta os rendimentos de execução da obra do tosco, divididos entre trabalho de pedreiro e de servente, conforme se apresentam no quadro em baixo [Quadro XV]. Estes valores mostram mais uma vez o excessivo peso da mão-de-obra no caso das paredes duplas, assim como a relativa aproximação dos rendimentos de execução das alvenarias de pano simples (com blocos de 20cm e 25cm).

Quadro XV: Rendimento da operação de execução de 1m² do tosco de paredes (LNEC [18])

Operação de construção	Pedreiro (h)	Servente (h)	Rendimento (h/H.m ²)
Hipótese 1)	1,52	1,40	1,46
Hipótese 2)	0,66	0,27	0,47
Hipótese 3)	0,78	0,32	0,55

No entanto, salienta-se novamente que a hipótese 3 (blocos com 25cm) não é representativa da solução de parede exterior simples que se procura analisar (unidades de grande formato), uma vez que obrigará à utilização de materiais de isolamento térmico, por forma a cumprir o regulamento RCCTE [62].

No decorrer de dois projectos de investigação relacionados com o desenvolvimento de unidades de alvenaria de grande formato para a indústria portuguesa, os Projectos de Investigação “OTMAPS” e “cBloco”, em que a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) participou, foram realizados alguns provetes para ensaio no Laboratório de Sistemas e Componentes (LSC) e no Laboratório de Acústica (LA) do Departamento de Engenharia Civil (DEC). Estes projectos tinham como objectivo o desenvolvimento de dois tipos de blocos, um de betão leve com dimensões nominais de 35x35x19cm (OTMAPS) e outro de cerâmica aligeirada com dimensões nominais de 30x30x19cm (cBloco), ambos de furação vertical e adaptados às novas exigências regulamentares existentes (RCCTE [62], EC6 [46] e EC8 [48]).

Os provetes de alvenaria foram realizados, em ambos os casos, com o preenchimento das bolsas verticais de argamassa e com juntas de assentamento descontínuas com argamassas pré-doseadas. A colocação da argamassa de assentamento foi feita à talocha, e o número de trabalhadores a executar os provetes variou de um a três elementos. Na execução dos provetes identificaram-se algumas variáveis que condicionam a validade dos resultados obtidos, entre as quais a excessiva necessidade de corte de unidades de alvenaria, uma vez que não existiam blocos de meio comprimento e que a reduzida dimensão dos provetes exigia um elevado número de ajustes de medida.

O número de cortes efectuados, devido à reduzida dimensão dos provetes, foi claramente superior aos que seriam necessários numa parede de fachada de um edifício corrente, sobretudo se fossem usadas peças próprias para os remates. Por outro lado, não se utilizaram instrumentos próprios para o assentamento deste tipo de unidades de alvenaria, como por exemplo máquinas doseadoras de argamassa e pinças metálicas para o seu manuseamento. Para além destas condicionantes, os ritmos de execução, num contexto de laboratório, serão certamente diferentes dos existentes numa situação de obra em estaleiro. Os resultados obtidos são os que se apresentam no quadro que se apresenta em baixo [Quadro XVI].

Quadro XVI: Tempo de execução de alguns provetes de alvenaria para ensaio nos Laboratórios LSC e LA da FEUP

Un. alvenaria	Provetes (m ²)	Tempo execução (h)	Rendimento (h/H.m ²)
Blocos betão leve	4x(0,8x0,525) = 1,7 2x(0,8x0,8) = 1,3	2,3	0,77
Blocos cerâmicos	10,0	5,0	0,50

Dos valores obtidos contacta-se que a execução de numerosos remates nos provetes de pequena dimensão influiu negativamente no rendimento do trabalho, desvirtuando o resultado alcançado. Pelo contrário, no provete de maior dimensão o resultado obtido estará provavelmente mais próximo da realidade.

Num estudo realizado em laboratório [2], onde foi testada a produtividade associada à execução de diversos tipos de alvenaria (alvenaria “tradicional”, alvenaria com blocos de grande formato e alvenaria com blocos especiais, com e sem junta vertical preenchida, com e sem sistema de encaixe, etc.), chegou-se à conclusão que blocos especiais com sistemas de encaixe “modernos” podem oferecer acréscimos de produtividade na ordem dos 60% a 90% em relação à alvenaria “tradicional” com tijolos de pequena dimensão. No entanto, estes valores referem-se à comparação entre dois sistemas que não são utilizados em Portugal, representando soluções extremas: por um lado, os blocos especiais testados têm uma configuração que permite ainda maior ritmo de execução que os blocos de grande formato comercializados na Europa, e por outro a alvenaria “tradicional” refere-se à execução de alvenaria com tijolos maciços em aparelho inglês, uma técnica que requer ainda mais trabalho que o assentamento dos tijolos correntes em Portugal.

No mesmo estudo é salientado o facto deste tipo de análises comparativas normalmente não entrarem em consideração com factores que alteram os valores da produtividade, e portanto ser preciso evoluir para estudos mais elaborados e sistematizados. Relativamente aos factores não considerados nos ensaios deste estudo, salienta-se o peso relativo do trabalho “indirecto ou complementar” no assentamento das alvenarias, que, segundo o mesmo estudo, representará

aproximadamente menos 30% a 50% no caso das alvenarias com blocos de grande formato do que no caso das alvenarias convencionais (tijolos de pequenas dimensões). O trabalho “indirecto ou complementar” diz respeito a parâmetros como a medição da obra, a inspecção dos trabalhos, a escolha das unidades de alvenaria para assentar, o eventual corte de unidades de alvenaria, a mistura da argamassa, etc. Os resultados dos ensaios realizados neste estudo apresentam-se no quadro em baixo [Quadro XVII].

Quadro XVII: Produtividade de alguns sistemas de alvenaria (execução de provetes com 1,5m² cada) [2]

Alvenaria (c x l x a)	Tempo de execução (min)			Tempo médio execução (h)	Rendimento (h/m ²)
	Prov.1	Prov.2	Prov.3		
tijolo maciço	107	116	110	1,85	1,23
bloco vazado betão (39x20x19)	90	89	84	1,46	0,97
bloco com encaixe especial (40x11x20)	59	64	61	1,02	0,68

Os provetes com 1,5m² de área realizados para estes ensaios foram executados por um pedreiro e dois ajudantes. A alvenaria com tijolo maciço foi executada com aparelho inglês (ficando a parede com 23cm de espessura) e argamassa tradicional nas juntas horizontais e verticais. Os blocos vazados de betão foram igualmente aparelhados com junta tradicional de argamassa, com o preenchimento das juntas verticais. Apenas a alvenaria de blocos com encaixe especial foi executada com juntas de assentamento delgadas (com argamassa cola) e juntas verticais secas.

Assim como nos testes com provetes efectuados nos laboratórios da FEUP, os resultados obtidos não servem para inferir ritmos de construção em obra, uma vez que o número de remates de um provete é muito superior ao de uma parede corrente. No entanto, estes resultados são úteis para confirmar o grande incremento de produtividade que se poderá ter com a utilização de sistemas de alvenaria com blocos de grande formato, sobretudo quando melhorados com, por exemplo, sistemas de encaixe ou juntas finas de assentamento.

Num estudo de âmbito mais geral no Brasil [29], que incluiu o acompanhamento da construção de um grande conjunto habitacional, obtiveram-se valores comparativos mais fidedignos da economia e produtividade entre diferentes soluções construtivas, uma vez que a grande dimensão das obras de tosco analisadas garante uma maior abrangência do estudo. Este conjunto habitacional era composto por 23 prédios de 4 pisos cada um (4 apartamentos por piso), sendo que 12 prédios foram construídos em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, 3 em alvenaria estrutural de blocos de

betão, e 8 em estrutura porticada de betão armado com alvenarias simples de preenchimento. Os resultados obtidos no estudo foram sintetizados (comparativo percentual) no quadro que se apresenta em baixo [Quadro XVIII].

Quadro XVIII: Estudo comparativo de economia e produtividade entre diferentes sistemas construtivos no Brasil [29]

Tipo de estrutura	Alvenaria estrutural com blocos cerâmicos	Alvenaria estrutural com blocos de betão	Estrutura em betão armado e alvenaria preenchimento
Materiais e equipamentos	94%	100%	93%
Mão-de-obra	72%	67%	100%
Materiais e mão-de-obra	94%	97%	100%

Neste estudo os autores concluíram que os sistemas construtivos em alvenaria estrutural têm uma ligeira vantagem económica em relação às estruturas em betão armado, mas que esta vantagem pode ser facilmente invertida por alterações nos preços relativos dos materiais. No entanto, identificaram como principais entraves ao aumento da produtividade geral a falta de treino da mão-de-obra e a resistência ao uso de inovações tecnológicas, o que poderá ser determinante nos resultados obtidos com as alvenarias estruturais.

Dos valores sintetizados no quadro comparativo, salienta-se o peso relativo dos materiais e equipamentos nos sistemas construtivos em alvenaria estrutural, fazendo com que os valores finais das soluções se aproximem. Entre as duas soluções de blocos para alvenaria estrutural, os blocos de betão têm um peso relativo maior, representando 9,69% do custo total da obra, enquanto que os blocos cerâmicos representaram apenas 8,15%.

Os autores do estudo, para além da economia de mão-de-obra nas soluções de alvenaria estrutural, destacam também a precisão dimensional e a padronização dos processos construtivos das alvenarias estruturais.

Durante o ano de 1999 em Portugal, num trabalho de âmbito académico, João C.M. Rei [25] realizou um estudo económico comparativo entre diferentes soluções construtivas, tendo por base dois edifícios distintos A e B [Quadro XIX]. A solução em estrutura reticulada de betão armado contemplava a execução de paredes simples de preenchimento com blocos de betão, e outras duas soluções de alvenaria resistente confinada, descritas no quadro comparativo, previam a utilização de blocos de betão corrente de 25cm de largura, e tijolos perfurados verticalmente para alvenaria aparente (tijolos face à vista).

Quadro XIX: Variação do custo em relação à estrutura reticulada de betão armado [25]

Edifício	Solução	N.º de pisos	Variação (%)
A	Blocos de betão corrente	2	- 6,9
		4	- 6,6
	Tijolos perfurados verticalmente	2	+ 39,2
		4	+ 41,7
B	Blocos de betão corrente	2	- 11,2
		4	- 9,4
	Tijolos perfurados verticalmente	2	+ 37,0
		4	+ 40,9

Deste estudo comparativo o autor apontou duas conclusões principais: que algumas soluções de alvenaria resistente são mais económicas do que a solução “tradicional” em estrutura reticulada de betão armado, e que a solução em tijolos perfurados verticalmente é prejudicada pelo elevado preço das unidades de alvenaria. No entanto, refira-se que o preço médio dos blocos “face à vista” é substancialmente superior ao dos blocos não-aparentes.

Os estudos comparativos apresentados nesta parte do trabalho demonstram uma grande discrepância de resultados, sublinhando a necessidade de se procederem a estudos mais exaustivos relativos à economia e produtividade dos sistemas de alvenaria. Não correspondendo a conclusões (por falta de maior confirmação), podem registar-se no entanto as seguintes ideias:

- que as paredes simples com blocos de médio formato, podendo ser revestidas pelo exterior (no caso de paredes de fachada) com sistemas de isolamento, tanto em estruturas porticadas como em alvenarias confinadas, apresentam actualmente melhores índices de economia e produtividade que os sistemas “tradicionais” com paredes duplas;
- que os sistemas de alvenaria resistente (armada ou confinada) com blocos de grande formato ainda não são economicamente vantajosos, pela ainda reduzida disponibilidade de soluções em Portugal, pela falta de experiência e conhecimento dos construtores, assim como pela não utilização de técnicas e meios adequados à execução deste tipo de alvenarias.

5.5. Ergonomia

O aumento dimensional das unidades para alvenaria resistente ou confinada, apesar das vantagens nos seus comportamentos mecânico, térmico, ou por exemplo acústico, coloca em evidência um dos principais problemas das alvenarias em geral, que é a intensidade do trabalho no seu assentamento. Este tipo de trabalho em obra é altamente repetitivo e fisicamente exaustivo, expondo os trabalhadores ao risco de lesões graves (sobretudo na zona lombar), com todas as implicações que poderá ter em termos de produtividade, da gestão das equipas de trabalho e dos custos associados à saúde dos trabalhadores. As vantagens existentes no uso de alvenarias com unidades de grande formato podem facilmente ser anuladas perante este problema, sendo por isso essencial a aplicação de medidas para o aligeiramento do trabalho de assentamento, assim como para alcançar bons índices de produtividade em obra.

O trabalho de construção das alvenarias é responsável por uma parte considerável das lesões musculares que afectam os trabalhadores da construção civil [Figura 56]. Esta incidência de lesões deve-se sobretudo à frequência e repetição dos movimentos exigidos pelo trabalho de assentamento das unidades, assim como ao tipo de esforço e postura corporal normalmente utilizada. O peso das unidades também faz variar muito o grau de dificuldade da tarefa. Se no caso das “tradicionais” alvenarias em tijolo, com unidades de pequeno formato cujo manuseamento é feito com apenas uma mão, a tarefa já apresentava um desgaste considerável dos trabalhadores, com os blocos de grande formato o problema intensifica-se, obrigando ao estudo de soluções que, por um lado, minimizem o esforço da mão-de-obra, e por outro permitam aumentar a produtividade em obra. A utilização de utensílios próprios para a execução de alvenarias com unidades de grande formato permitem alcançar esses objectivos, existindo ainda outras possibilidades que estão a ser desenvolvidas com o intuito de revolucionar o modo de execução deste tipo de alvenarias.

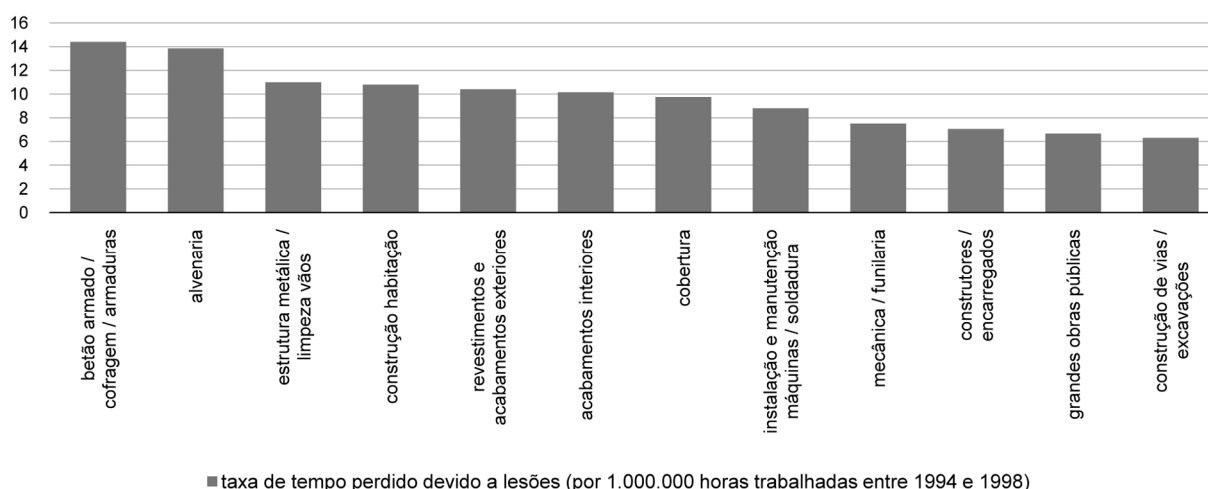


Figura 56: Incidência de lesões musculo-esqueléticas não traumáticas por actividade, em WSIB Data (fonte: eLCOSH [36])

Como resultado da sua dimensão e peso, o manuseamento das unidades para alvenaria resistente ou confinada terá que ser feito com as duas mãos, deixando de ser possível o mesmo trabalhador executar simultaneamente as tarefas de colocação da argamassa e de assentamento das unidades de alvenaria. No entanto, cada uma destas tarefas poderá ser desempenhada por diferentes trabalhadores, permitindo reduzir o desgaste individual através da rotatividade entre eles.

Apesar deste problema se colocar em quase todos os tipos de blocos de grande formato, existem diferentes pesos das unidades que variam consoante o seu material constituinte, as suas dimensões e geometria. A constituição, dimensão e peso das unidades de alvenaria dependerá da sua tipologia, ou seja, da função para a qual foram desenvolvidas. Tanto em alvenarias resistentes como confinadas, as exigências relativas ao comportamento mecânico das unidades inviabilizam um maior aligeiramento das massas de fabrico, sendo que o seu aligeiramento é resultado da relação entre a massa volúmica e a resistência à compressão mínima exigível.

Como os blocos de grande formato estão essencialmente orientados para a execução de paredes de fachada e paredes de meiação, para além da resistência mecânica também os desempenhos acústico e térmico limitam a massa volúmica, dimensão e peso total das unidades de alvenaria. O isolamento acústico estabelece um limite máximo para o aligeiramento e um limite mínimo para a dimensão e peso do bloco (Lei da Massa), quando por outro lado o isolamento térmico estabelece um limite mínimo para o aligeiramento da massa e para a dimensão do bloco, etc. A configuração e peso das unidades de alvenaria é assim resultado da conjugação de todas estas exigências. Isto significa que mesmo que os blocos não tenham funções estruturais, a sua utilização em fachadas e paredes de meiação leva a que as suas dimensões e pesos se mantenham altos, não muito inferiores aos dos blocos com funções resistentes.

Para utilização em paredes exteriores simples, e considerando os regulamentos em vigor (nomeadamente o RCCTE [62] e, no caso de alvenarias com função resistente, o EC6 [46] e o EC8 [48]), os blocos cerâmicos dificilmente poderão atingir pesos inferiores a 14kg, sendo que os de betão leve são por norma mais pesados, podendo rondar os 18kg [Quadro XX].

Quadro XX: Dimensões e peso de algumas unidades de alvenaria

Unidades de alvenaria	Bloco cerâmica aligeirada	Bloco cerâmica aligeirada	Bloco cerâmica aligeirada	Bloco cerâmica e perlite	Bloco de betão leve
Fabricante	Preceram	Porotherm	Schlagmann	Schlagmann	Spral ¹
Modelo	"Tijolo Térmico 29"	"Biomur R37"	"Plan T14-365"	"S11"	"Conforto"
Fotografia					
Componente aligeiramento	Poliestireno expandido	Poliestireno expandido	Poliestireno expandido	Perlite	Argila expandida (Leca)
Dimensão (cm) c x l x a	29,4 x 28,9 x 18,9	24,9 x 37,5 x 25,0	24,8 x 36,5 x 24,9	24,8 x 36,5 x 24,9	35,0 x 35,0 x 19,0
Massa volúmica bruta (kg/m ³)	860	-	700	900	1150
Coefficiente "U" (W/m ² .°C) ²	0,71	0,34	0,35	0,28	0,50
Resistência média à compressão (N/mm ²)	≥ 3	8	6	6	2,6
Peso (kg)	13,9	17,3	14,1	19,2	18,5

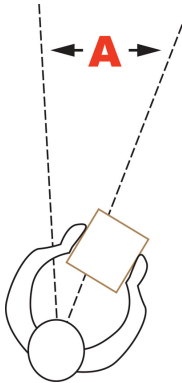
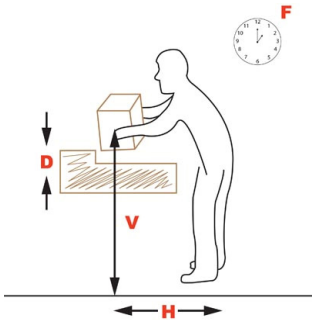
1 - A Maxit é detentora da patente, sendo que o bloco irá ser produzido pela Spral e outras empresas a partir de data ainda não definida. As características do bloco referem-se aos ensaios efectuados para o Projecto de Investigação "OTMAPS" [23], não existindo a caracterização dos blocos por parte dos fabricantes, uma vez que ainda não se encontra em produção.

2 - Para os coeficientes térmicos "U" dos blocos considerou-se reboco tradicional em ambas as faces da parede.

O Decreto-Lei n.º 330/93 [42], que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 90/269/CEE relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde na movimentação manual de cargas que comportem riscos, nomeadamente na região dorso-lombar, classifica como carga demasiado pesada os objectos com mais de 30kg para operações ocasionais e os objectos com mais de 20kg para operações frequentes, como é o caso do assentamento de alvenaria. O NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) [74], organismo Norte-americano para a segurança e saúde no trabalho, recomenda o limite máximo de 23kg para o manuseamento de cargas pesadas. No entanto, assim como o NIOSH, também outros organismos internacionais disponibilizam métodos de cálculo do peso máximo que uma carga deverá ter, atendendo a factores como a altura do objecto em relação ao trabalhador, a duração e frequência do movimento, a rotação e a distância que o trabalhador tem que percorrer, etc. [Figura 57].

Carga Máx. = 23 x CM x CH x CV x CF x CD x CA (kg), com:

- CM * (coeficiente de manuseamento da carga);
- CV (cm) – distância vertical entre a carga e o corpo;
- CH (cm) – distância horizontal entre a carga e o corpo;
- CF – frequência do levantamento das cargas (quanto maior, menor será esta variável – compreendida entre 0 e 1);
- CD (cm) – deslocamento da carga sobre a vertical;
- CA (graus) - rotação exercida pelo tronco.



*CM - Coeficiente a utilizar para o Manuseio da Carga:

Tipo de Manuseamento	CV < 75 cm	CV ≥ 75 cm
Fácil	1,00	1,00
Normal	0,95	1,00
Com dificuldade	0,90	0,90

Figura 57: Equação NIOSH relativa à carga máxima admissível para o trabalhador (fonte: Portal Empresarial da Maia [70])

Aumentar o aligeiramento dos blocos de grande formato apenas é possível introduzindo mais isolantes térmicos (como p.ex. poliuretano, poliestireno ou lãs minerais) nos orifícios ou na camada central dos blocos. Alguns dos principais fabricantes e consórcios europeus de sistemas de alvenaria disponibilizam blocos com esta configuração, embora sejam opções com maiores custos de fabrico e comercialização [Figura 58].

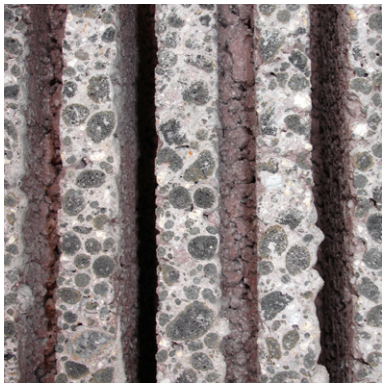


Figura 58: Pasta cerâmica crua com poliestireno (EPS), bloco “ThermoPlan MZ8”, betão aligeirado com argila expandida

Num estudo realizado pela Associação de Segurança na Construção de Ontário, Canadá, comparou-se o risco de lesão e a produtividade associadas ao assentamento de alvenarias com diferentes tipos de unidades [19]. A conclusão revela que um tipo de blocos de grande formato que foram testados apresentam um agravamento de 50% no risco de lesão em relação a um outro tipo de tijolos de tamanho médio, contribuindo apenas para um aumento de 5% na produtividade. No mesmo estudo, um inquérito aos trabalhadores da construção civil revelou que estes se queixam de maior cansaço neste tipo de trabalho desde que se generalizou o uso de blocos de maior dimensão. O estudo apresenta como recomendações a limitação do tamanho das unidades de alvenaria, o uso de espátulas curtas para a colocação de argamassa (máx. 27cm), o ensino de posturas correctas aos trabalhadores e o planeamento de tempos de descanso adequados.

Conforme já foi referido, alguns dos utensílios próprios para a execução de alvenarias contribuem simultaneamente para facilitar o trabalho de assentamento (reduzindo o desgaste dos trabalhadores e o risco de lesão) e aumentar a produtividade em obra. Os andaimes reguláveis em altura com dois níveis de plataformas, uma plataforma para os operários e outra para a distribuição dos materiais, permitem a colocação das cargas num plano elevado em relação ao trabalhador, corrigindo o movimento de manuseamento e movimentação dos blocos [Figura 59].

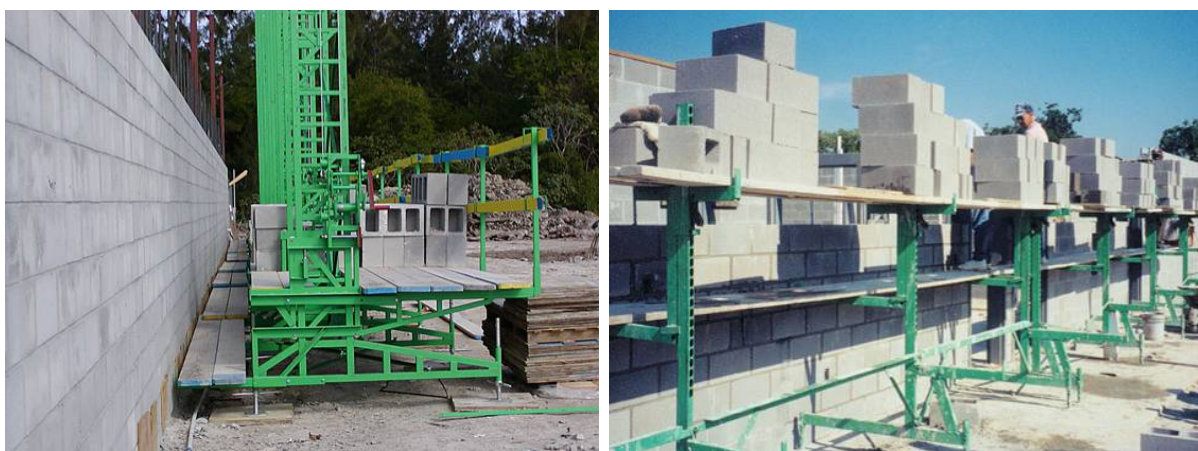


Figura 59: Andaimos reguláveis em altura com dois níveis de plataformas (fonte: *Non-Stop Scaffolding* [84])

5.6. Coordenação dimensional modular

A coordenação modular é usada há já muito tempo na concepção de sistemas com base na prefabricação de elementos de construção. Embora o seu desenvolvimento se deva sobretudo à necessidade de adaptar elementos de prefabricação pesada nos edifícios, o seu campo de aplicação

foi gradualmente crescendo, surgindo hoje como uma ferramenta essencial ao nível da concepção de todo o tipo de elementos de construção, assim como do projecto arquitectónico de edifícios.

Um dos factores de optimização dos sistemas integrados de alvenaria, dos sistemas de prefabricação de painéis de alvenaria, ou dos sistemas integrados de prefabricação (paredes, lajes e p.ex. coberturas), é a sua adaptação à lógica da coordenação modular, reunindo todos os sistemas e elementos de uma construção (revestimentos, caixilharias, tosko, etc.) numa mesma lógica dimensional, para melhor e mais célere integração dos mesmos em obra.

5.6.1. Referência histórica

Albert Farwell Bemis, Engenheiro Civil Norte-Americano (1870-1936), foi o principal responsável pelo início da investigação sobre o “Método do Módulo Cúbico” de projecto, ou como acabou por ficar conhecida, a “Coordenação Dimensional”. Os seus estudos tornaram-se conhecidos logo após a Primeira Guerra Mundial, como resposta à extrema necessidade de habitação de baixo custo. Esta investigação estava, desde o seu início, relacionada com uma intenção clara de desenvolver metodologias de projecto que permitissem uma construção optimizada, do ponto de vista dos custos e rapidez de execução.

Ao longo de todo o século XX, com particular relevância no pós Segunda Guerra Mundial, os estudos de Bemis foram continuados e aprofundados, dando inclusivamente origem mais tarde a grupos de investigação, como por exemplo o grupo “W24” do CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*), de cujo trabalho resultou a uniformização dos conceitos e estudos existentes até então. Este trabalho de uniformização realizado por vários organismos deu origem a alguns documentos técnicos e normas nacionais e internacionais, como são exemplo disso algumas normas ISO (ISO 1791, ISO 2848, ISO 2777), ou ainda a norma portuguesa NP 88 [54]. Em Inglaterra foi publicada, em 1986, a BS 6750 - “*Modular coordination in Building*” [37], documento que melhor reúne a informação contida nas normas ISO produzidas entre 1970 e 1984, e que é tido como documento de referência na coordenação modular [9].

Em 1970, numa publicação do LNEC [6], a coordenação modular é definida como a “disciplina dimensional que, com base num módulo, visa a obtenção de conjuntos de dimensões para os elementos de construção por forma que possam ser empregues em obra sem modificação posterior das suas dimensões de fabricação para efeitos de montagem”. A importância desta disciplina tem por base a necessidade de coordenação de cada vez mais elementos e componentes para a construção de edifícios, resultantes de processos standardizados de fabrico industrial, com o objectivo de

alcançar padrões de qualidade construtiva altos, assim como resultados estéticos e funcionais adequados.

5.6.2. Objectivos

Poderão destacar-se alguns dos principais objectivos da disciplina da coordenação dimensional modular, em diferentes fases do processo construtivo. Assim,

Os objectivos principais relativos ao fabrico dos elementos e componentes de construção são:

- adaptar técnicas de produção industriais de grande racionalização, próprias de outros tipos de indústria, aos elementos e componentes usados na indústria da construção;
- facilitar o controlo dimensional dos produtos e as tolerâncias de fabrico (muitas vezes normalizadas).

Os objectivos principais relativos à fase de projecto são:

- assegurar, com base numa lógica racional, a correcta adaptação entre diferentes componentes e elementos de construção, em projecto e em obra, de forma a garantir uma boa qualidade construtiva, bons desempenhos funcionais e resultados esteticamente adequados;
- facilitar, da mesma forma, a cooperação entre projectistas, fabricantes de componentes e elementos de construção, e entidades executantes das obras (empreiteiros);
- permitir a racionalização geral do projecto de arquitectura de um edifício, contribuindo para uma maior exequibilidade da obra, maior economia, e para evitar divergências da obra construída em relação ao projecto.

Os objectivos principais relacionados com a execução da obra são:

- reduzir a necessidade de corte dos elementos de construção, diminuindo a mão-de-obra necessária, e evitando ainda desperdícios de material;
- reduzir os custos e tempo de execução das obras, aumentando a produtividade, devido à maior facilidade em adaptar os diferentes elementos de construção à solução prevista em projecto,

assim como maior facilidade em realizar as juntas entre elementos e controlar as tolerâncias de montagem;

- possibilitar a incorporação de um leque abrangente de produtos disponíveis no mercado para o mesmo tipo de aplicação, com todas as vantagens associadas (contribuindo para um mercado de concorrência promotor de qualificação dos produtos e serviços).

5.6.3. Definição, unidades e sistemas de referência

A coordenação dimensional modular tem por base um sistema métrico de referência que usa como medida base do sistema o valor de 100mm. Este módulo-base (M) é aplicado unitariamente, em seus múltiplos (multi-módulo, 2M, 3M,...), ou em sub-múltiplos (sub-módulos, 1/2M, 1/4M,...), nas três dimensões de coordenação, que são a largura, o comprimento e a altura. Estas dimensões de coordenação definem tanto a dimensão dos espaços como a localização dos diferentes elementos de construção, percorrendo assim as várias escalas do projecto arquitectónico. “A coordenação dimensional modular é assim uma metodologia dimensional padrão que se destina a racionalizar a concepção e construção de edifícios de modo a permitir aumentar o grau de industrialização da construção dentro de valores aceitáveis de liberdade de concepção arquitectónica” [9].

A coordenação modular é uma disciplina que faz parte das metodologias do projecto arquitectónico, facilitando a organização dos espaços e a disposição dos diferentes elementos de construção. A sua aplicação poderá ter diferentes abrangências num projecto. Um exemplo da aplicação parcial da coordenação modular em edifícios será em projectos de reabilitação de edifícios antigos, onde normalmente se trabalha com geometrias irregulares dos espaços, tentando encontrar uma regra para a introdução dos novos elementos. Aqui, por exemplo, a coordenação modular poderá servir para relacionar a estereotomia de um pavimento novo com a introdução de novos elementos como paredes, portas ou por exemplo mobiliário fixo.

A necessidade de aplicação destas regras surge sempre que exista a utilização simultânea de pelo menos dois elementos de construção que pressuponham uma aplicação repetitiva, e a realização de juntas entre si. Embora mais presente na concepção e execução dos revestimentos (onde a configuração das juntas é visível e define a qualidade estética do espaço), a coordenação modular tem um papel fundamental também ao nível do tosco da construção, principalmente quando estamos a falar de sistemas de alvenaria, em que existe a repetição de um determinado elemento e a necessidade de coordenação dos diferentes tipos de juntas (estruturais, não-estruturais cobertas ou descobertas).

Para determinar a posição e as dimensões de um elemento de construção modular, assim como as suas relações com os elementos de construção adjacentes, será necessário dispor os planos, as linhas ou os pontos de referência. A malha (ou reticulado modular) é um sistema de coordenação geométrica espacial que é definida pela sucessão regular de espaços idênticos entre as linhas de referência. O espaçamento desta malha, o módulo de projecto, poderá ser a dimensão do módulo-base ou de um qualquer múltiplo do módulo (multi-módulo). As dimensões mais comuns de módulos de projecto em planta são 500 e 600mm (5M e 6M), normalmente resultantes da subdivisão de uma qualquer dimensão espacial mínima que se quer garantir no projecto. Na dimensão vertical, de altura, o pé-direito livre dos espaços interiores está intimamente relacionada com as dimensões de coordenação nesse sentido.

Em edifícios de habitação colectiva é muito comum a célula do quarto, enquanto unidade espacial, definir o espaçamento entre eixos principais de coordenação. Esta medida, frequentemente de 3 metros, representa um múltiplo do módulo de projecto. Esta distância está também relacionada com a medida mínima necessária à organização dos lugares de estacionamento em pisos inferiores, como aliás acontece nos edifícios comerciais ou de serviços.

Fundamentalmente, existem duas possibilidades de relacionar os elementos de construção com a malha modular: a referência ao eixo (situação A), ou a referência ao limite (situação B) [Figura 60]. Existe ainda a hipótese destes dois tipos de referências coexistirem, relacionando os elementos de construção ao eixo numa direcção, e aos limites na outra (situação C).

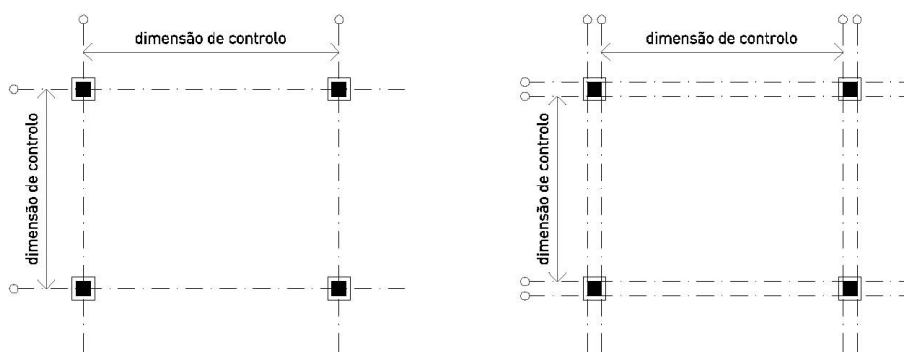


Figura 60: Relação dos elementos de construção com a malha modular

No caso da referência ao eixo, a linha axial do elemento sobrepõe-se à linha de referência, ou seja, o elemento de construção está centrado em relação à linha de referência. Nesse caso não são definidas as dimensões do elemento, nem a dos elementos adjacentes. No caso da referência ao limite, o elemento de construção é referenciado a pelo menos duas linhas do sistema de referência, sendo definida a posição do elemento assim como a sua dimensão.

5.6.4. Relação da estrutura com a parede exterior

A sobreposição entre diferentes malhas modulares é comum, normalmente referenciando-se uma à estrutura do edifício (obra de tosco), e a outra aos revestimentos de piso e paredes (obra de acabamento). A primeira é geralmente referida como principal, e a segunda como auxiliar. No entanto, consoante o tipo de elementos estruturais e a sua posição em relação à obra de tosco, poderão ser estabelecidas diferentes regras [Figura 61].

Em estruturas porticadas de betão armado, as relações de posição geométrica da parede de fachada com os pilares e vigas (ou lajes) determinam a capacidade da estrutura se tornar ou não um elemento de organização. Quando não coincidentes, em alvenaria não confinada, as paredes exteriores ganham maior liberdade ao serem reduzidos os seus planos de referência. Estas diferentes relações geométricas equivalem a diferentes disposições construtivas, com influência não só na coordenação dos diferentes elementos de construção (unidades de alvenaria e revestimentos), como também no seu desempenho.

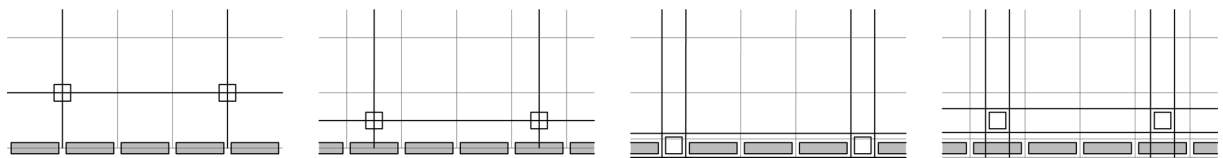


Figura 61: Sobreposição entre diferentes malhas modulares [14]

Do ponto de vista construtivo, a disposição dos pilares e vigas é importante para a modelação e fixação dos elementos de fachada, assim como para as ligações de paredes interiores. Do ponto de vista da física das construções, estão dependentes destas relações geométricas as seguintes exigências: deformação (causada pela diferença de temperaturas), pontes térmicas (diferentes condutibilidades), pontes acústicas (transmissão de ruído diferencial), e protecção contra agentes climatéricos (p.ex. protecção de estruturas de aço, protecção anticorrosiva, etc.).

No caso das alvenarias de fachada, a coordenação modular tem por objectivo fazer coincidir, sem necessidade de corte, os remates das unidades de alvenaria com a localização dos diferentes pontos singulares da fachada (dispostos segundo a malha de coordenação) [Figura 62]. Em coordenação horizontal (planta), estes pontos singulares poderão ser os cunhais, as ombreiras dos vãos, ou os pilares e montantes verticais (dependendo do tipo de estrutura), e em coordenação vertical poderão ser as lajes de piso, os lintéis, os peitoris, ou a própria platibanda do edifício.

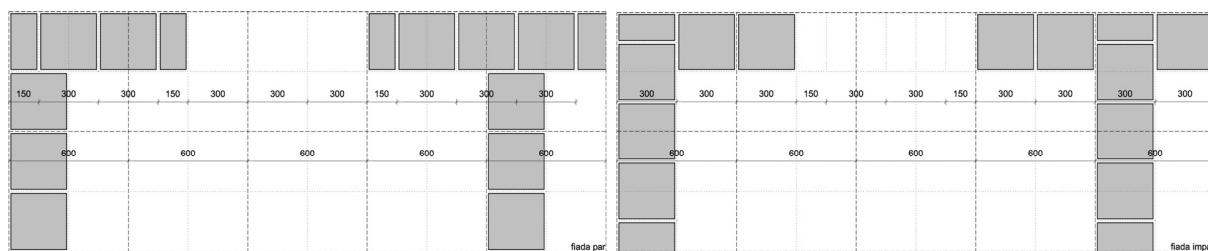


Figura 62: Exemplo de coordenação dimensional em paredes de alvenaria armada (esq. - fiada par / dir. - fiada ímpar) [8]

As exigências de resistência mecânica e estabilidade em alvenarias levam a que o assentamento das fiadas se faça de modo desfasado, não coincidindo juntas verticais entre fiadas. As peças especiais dos sistemas de alvenaria, sobretudo a meia peça de comprimento, tornam-se assim imprescindíveis para que o remate das fiadas se faça no plano de referência do ponto singular em questão.

5.6.5. Dimensões, tolerâncias e juntas

Os elementos de construção são fabricados e aplicados de acordo com as regras estabelecidas pela coordenação modular. O módulo de projecto estabelece a dimensão de coordenação, espaçamento entre linhas de referência. Para que os elementos de construção cumpram essa modulação, é necessário que as suas dimensões reais sejam inferiores, de forma a permitir a realização de juntas adequadas ao tipo de elemento construtivo e sua aplicação.

Os materiais têm maior ou menor estabilidade dimensional ao longo do ciclo de vida. Poderão também estar sujeitos a factores que fazem alterar as suas dimensões, como por exemplo a exposição à humidade (p.ex. zonas de águas). Por outro lado, a estrutura do edifício pode ser previsivelmente mais estável (paredes em betão armado), ou menos estável, como no caso das estruturas porticadas com fundações pontuais (assentamentos diferenciais). A conjugação de todos estes factores deverá ser tida em conta na fase de concepção do projecto, nomeadamente no dimensionamento dos elementos de construção e das juntas entre eles.

As dimensões reais de um material ou componente deverão ser definidas tendo em atenção a dimensão de junta necessária ao correcto desempenho em obra [Figura 63]. Estas dimensões terão que ter em conta igualmente as tolerâncias de fabrico e montagem previstas para cada caso, de forma a que se cumpram as dimensões de coordenação desejadas.

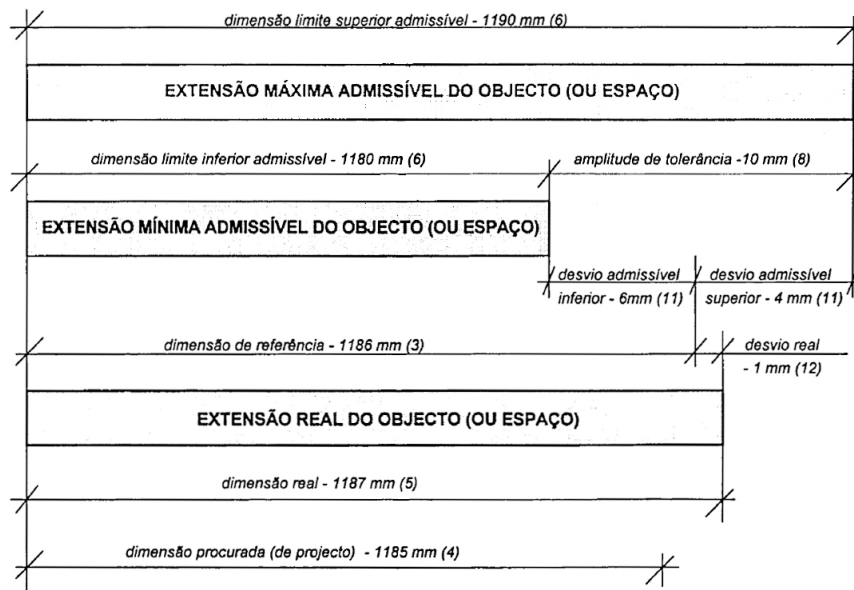


Figura 63: Tolerâncias relativas a um elemento de construção [9]

O controlo de tolerâncias no fabrico e na aplicação em obra dos elementos de construção é essencial para se garantir a qualidade de execução desejada. “O problema resulta da inevitável variabilidade dimensional de todos os objectos fabricados em série ou de forma artesanal e da também inevitável existência de desvios dimensionais com diversas origens que surgem ao longo da concretização das obras projectadas” [9]. Os desvios com origem no erro humano são normalmente conhecidos por desvios provocados, enquanto aqueles que resultam de variações dos materiais relacionados com o processo de fabrico ou alterações físico-químicas são conhecidos por desvios inerentes (p.ex. a expansão irreversível dos materiais cerâmicos). Nos desvios provocados, poderão ser distinguidos os desvios de fabrico e os desvios de implantação (colocação em obra).

As variações de dimensão e implantação dos elementos de construção podem ter implicações graves no desempenho dos edifícios e das suas partes. De entre os aspectos mais importantes a controlar e as suas possíveis consequências, poderão destacar-se os seguintes:

- a horizontalidade e verticalidade das superfícies pode condicionar o uso dos espaços e o seu desempenho funcional;
- a dimensão das juntas de construção, dependente dos desvios provocados e inerentes, pode afectar gravemente o seu desempenho - este é, aliás, um problema recorrente na nossa construção que origina uma grande variedade de patologias;
- a dimensão dos elementos e das juntas de construção podem afectar a qualidade arquitectónica dos edifícios.

Tendo em conta os pressupostos enunciados, as tolerâncias servem então as diferentes fases do processo construtivo, sendo então essenciais quer na fase de fabricação dos produtos quer na fase de projecto do edifício para que os resultados possam ser controlados na fase de execução da obra. Torna-se assim essencial que tanto as unidades de produção dos elementos de construção como os projectistas possuam informação acerca das tolerâncias aconselháveis para cada situação. A colocação em obra deverá ser feita respeitando as informações fornecidas quer pelos fabricantes quer pelos projectistas.

Conforme referido anteriormente, as juntas de construção desempenham um papel fundamental no comportamento dos elementos de construção e do edifício no seu todo. As juntas, de vários tipos, têm como principal objectivo “absorver” os desvios de fabrico, de implantação, assim como os movimentos da estrutura e dos elementos de construção em fase de utilização, devendo “ser concebidas para todas as acções estáticas e dinâmicas que resultam da posição da junta no edifício e do período de vida útil dos componentes no edifício” [52]. Na norma ISO 3447 [53] poderá ser consultada uma listagem geral de funções das juntas. Amorim Faria [9] organiza esta listagem de funções agrupando-as de acordo com diversos aspectos a ter em conta na concepção de um edifício. Destas listagens de funções das juntas poderão destacar-se as seguintes:

- controlar a passagem de vermes e insectos, vegetação, pó e partículas inorgânicas, calor, som, ar e outros gases, cheiros, água, neve, gelo, vapor de água, fogo, fumo, radiação e materiais radioactivos;
- resistir a esforços (em uma ou mais direcções) de compressão, tracção, flexão, corte, torção, vibrações, impacto, retracção ou expansão, assim como de variações dimensionais associadas a alterações das condições de temperatura e humidade;
- absorver variações dimensionais durante o processo de fabrico ou montagem (desvios provocados), assim como absorver mudanças contínuas nas dimensões da junta relacionadas com aspectos térmicos, humidade e movimentos estruturais, vibração e “retracção” (desvios inerentes);
- suportar os componentes ligados em uma ou mais direcções, assim como resistir às suas deformações diferenciais;
- permitir a desmontagem e montagem parcial ou completa;
- desempenhar as funções exigidas para um dado intervalo de temperaturas e de humidades atmosféricas especificado, assim como para determinados volumes e caudais de chuva incidente.

5.7. Prefabricação

Com vista ao aumento da economia e produtividade da obra do tosco, mas também à melhoria da qualidade construtiva e fiabilidade dos sistemas construtivos em alvenaria, algumas empresas (sobretudo do centro da Europa) apostam actualmente em soluções de prefabricação de painéis de alvenaria com unidades de grande formato. O desenvolvimento de algumas tecnologias utilizadas neste tipo de prefabricação teve origem em inovações relacionadas com a execução de paredes em tijolo maciço de pequena dimensão.

Dado o tempo de execução deste tipo de paredes e a intensidade do seu trabalho, começaram-se a desenvolver sistemas robotizados que permitissem executar secções de alvenaria em fábrica para posterior transporte e montagem das diferentes partes em estaleiro. Uma das razões que esteve na origem destes desenvolvimentos foi também a necessidade de execução de alvenarias com geometrias complexas, difíceis de executar em obra, conseguindo-se assim executá-las com um rigor muito difícil de obter em estaleiro.

Com o objectivo de ampliar o campo de possibilidades da arquitectura de fachadas em tijolo, foi desenvolvido um projecto de investigação na Suíça, envolvendo o *Architecture and Digital Fabrication Laboratory* (Laboratório de Arquitectura e Fabricação Digital) da *ETH Zürich*, e a equipa de arquitectos suíços *Bearth&Deplazes Architekten* [Figura 64]. Este projecto teve como objectivo utilizar um sistema robotizado para o fabrico dos painéis de fachada de um edifício a construir, uma adega em *Fläsch*, na Suíça [Figura 65]. Os painéis prefabricados em tijolo maciço foram integralmente concebidos e produzidos com o auxílio de programas informáticos, permitindo obter uma geometria complexa da alvenaria, muito dificilmente realizável por mão-de-obra em estaleiro. Este sistema, para além de garantir uma maior rapidez e qualidade de execução, permite aos projectistas uma maior liberdade na concepção de fachadas, garantindo também a exequibilidade de soluções menos comuns. A relação entre o projecto (ou projectista) e a execução da obra passa assim a ser directa, deixando de existir neste processo as condicionantes relativas à qualidade da mão-de-obra.



Figura 64: Produção robotizada de painéis de alvenaria (fonte: *Architecture and Digital Fabrication laboratory, ETH Zürich* [75])

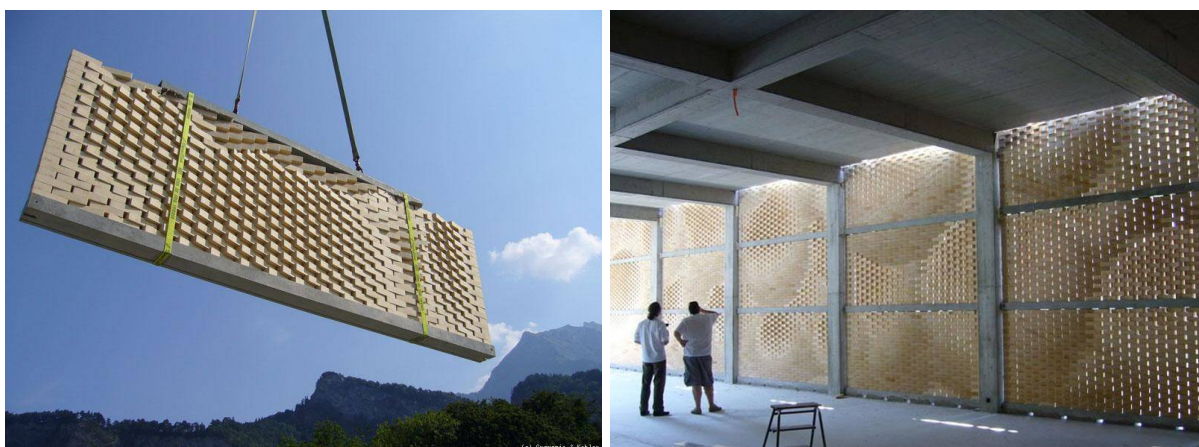


Figura 65: *Gantenbein Winery* na Suíça (fonte: *Architecture and Digital Fabrication laboratory, ETH Zürich* [75])

A prefabricação de painéis de alvenaria com unidades de grande formato tem sido apontada como uma das formas para o incremento de competitividade destes sistemas construtivos, estando actualmente a ser adoptada por algumas empresas europeias. Na Alemanha, onde os sistemas de alvenaria resistente estão muito desenvolvidos e têm larga expressão no mercado da construção, e onde os avanços ao nível da prefabricação de alvenarias tem já muitos anos (as primeiras aplicações práticas em obras foram há aproximadamente 40 anos), existe uma norma DIN [37] que estabelece algumas regras de cálculo que atendem ao comportamento mecânico e de estabilidade dos painéis prefabricados, assim como às contingências de transporte e à introdução de armaduras para a movimentação dos painéis e ligação entre os mesmos. Esta norma recente veio substituir a primeira norma alemã DIN dedicada aos elementos prefabricados de alvenaria, que data de 1978 [40]. No entanto, a nível europeu os Eurocódigos ainda não abordam este tipo de construção com elementos prefabricados em alvenaria.

De acordo com a norma alemã, os painéis prefabricados de alvenaria não diferem das alvenarias “tradicionais” realizadas em obra, no que diz respeito às suas propriedades construtivas e de estabilidade [15]. A principal revisão que a norma DIN de 2004 fez em relação à anterior de 1978 foi a aceitação do uso de novas unidades de alvenaria com comportamento térmico melhorado e a utilização de argamassas leves para as juntas, de forma a produzir painéis de fachada que respeitem as exigências térmicas mais recentes.

Os principais objectivos dos sistemas de prefabricação de painéis de alvenaria são a redução do custo e do tempo de execução da obra do tosco. No entanto, poderão apontar-se outras vantagens destes sistemas:

- redução da mão-de-obra em estaleiro;
- melhor qualidade construtiva, através de um controlo permanente da execução;
- melhor execução das juntas (muito susceptível à qualidade da mão-de-obra) e dos diversos pontos singulares de uma construção, evitando-se situações de imprevisto;
- garantia de qualidade dos diferentes elementos constituintes da alvenaria (unidades e argamassa), assim como do melhor comportamento da alvenaria no seu todo, de forma a respeitar os regulamentos e normas aplicáveis e as regras de cálculo estrutural para alvenarias resistentes (nomeadamente para-sísmicas);
- grande controlo dimensional e de tolerâncias, permitindo uma mais fácil integração de outros elementos prefabricados em obra;
- possibilidade de integração de diversos elementos suplementares durante a execução da parede em fábrica, como por exemplo janelas, portas, caixas de estore, instalações, elementos estruturais em betão armado como cintas ou montantes, etc.;
- redução da intensidade do trabalho de assentamento e consequentemente do risco de lesões;
- maior segurança no trabalho e redução do risco de acidentes;
- melhor organização do estaleiro, reduzindo a necessidade de armazenagem e movimentação de materiais de construção, assim como da acumulação de desperdícios de obra;
- cumprimento dos prazos definidos devido a um processo de fabrico e montagem praticamente independente das condições climáticas;
- fácil adequação ao projecto de arquitectura, uma vez que os elementos prefabricados podem ser produzidos com medidas especificadas;

- ausência de projecto específico para a alvenaria (disposição das unidades, peças especiais, etc.) a ser realizado por projectistas da obra, uma vez que a própria empresa que produz os painéis terá mecanismos próprios para realizar esse estudo e escolher as melhores opções;
- estabilidade do custo da obra e seu fácil controlo, com vantagens na orçamentação das mesmas.

A redução do custo da obra é neste caso garantida também pela redução do peso dos intermediários (empreiteiros) no custo total da obra, sendo que o fornecedor, para além de produzir os elementos prefabricados, poderá inclusivamente fazer a montagem e execução da obra do tosco em estaleiro. Por outro lado, entre o pagamento e a execução da obra passa a existir um período temporal mais curto e com outro tipo de garantias.

Outra das vantagens destes sistemas é o controlo da qualidade e de adequação aos projectos (arquitectura e especialidades) dos elementos prefabricados ainda em fábrica, antecipando essa tarefa normalmente realizada em estaleiro. “Cada elemento é comparado com o projecto de arquitectura, verificado para a sua exactidão, e aprovado para produção pelo arquitecto. Possíveis discrepâncias entre os projectos de arquitectura e de estabilidade são assim eliminadas. Desta forma, a gestão da obra é iniciada durante a preparação dos trabalhos, reduzindo as necessidades de inspecção em estaleiro” [10].

Ao contrário do exemplo descrito anteriormente, dos painéis prefabricados com tijolos de pequena dimensão onde a tecnologia digital associada a robots (sistemas CAD/CAM) permite a execução dos painéis sem recurso a mão-de-obra, no caso dos sistemas de prefabricação de painéis com blocos de grande formato o processo é normalmente semi-automático, sendo que os robots auxiliam sobretudo as acções de espalhamento da argamassa e a movimentação das cargas [Figura 66]. O controlo da qualidade de execução será neste sistema muito superior à execução tradicional em obra, com óbvias vantagens no rigor da execução das juntas e dos diferentes pontos singulares (como p.ex. os remates nos vãos). A produtividade e a qualidade construtiva são melhoradas pela transferência do processo principal de execução para o recinto industrial, tornando também estas operações independentes das condições climáticas.



Figura 66: Produção de painéis prefabricados de alvenaria (fontes: *Franken Ziegel* [76], *Ziegel Elementbau* [98])

Algumas empresas que produzem os painéis de parede disponibilizam também soluções de prefabricação para outros elementos de construção, como por exemplo lajes, coberturas e paredes divisórias interiores, inseridos numa lógica de sistema integrado de prefabricação [Figura 67]. Uma das grandes vantagens destes sistemas integrados é que permitem construir a totalidade da estrutura de um edifício com um mesmo tipo de material, incluindo o piso térreo e a estrutura da cobertura. A utilização de um mesmo material oferece um comportamento homogêneo aos diferentes elementos de construção, reduzindo as consequências de deformações diferenciais entre elementos.

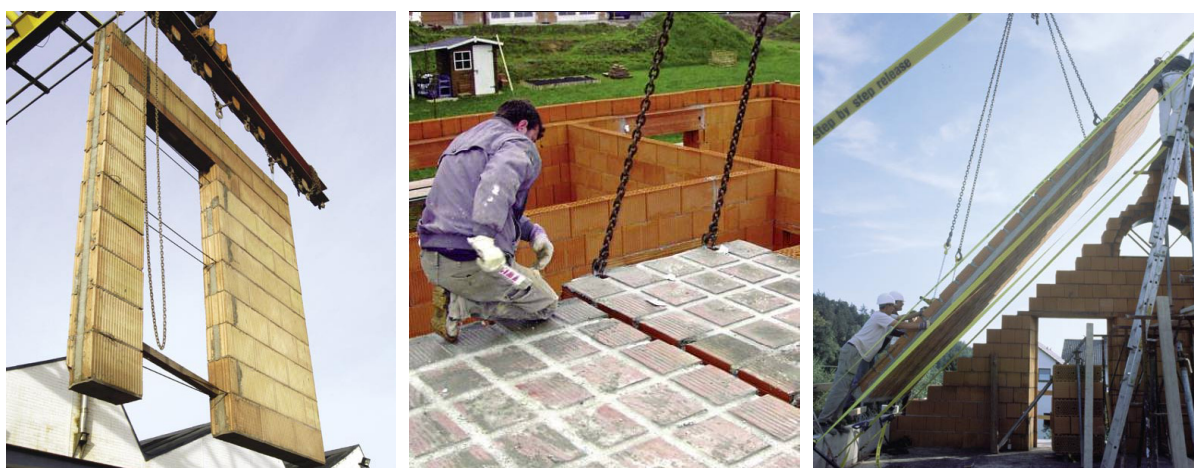


Figura 67: Elementos prefabricados para paredes, lajes e coberturas (fontes: *Franken Ziegel* [76], *GIMA Ziegel* [77], *ZiegelElementbau* [98])

Os painéis prefabricados são produzidos em medidas standard ou em medidas especificadas (podendo atingir o comprimento máximo de aproximadamente 7m), evitando-se assim um maior

compromisso da arquitectura na utilização destes sistemas. As dimensões máximas e a possibilidade de execução de todo o tipo de pontos singulares, como por exemplo diferentes tipos de vãos, oferecem uma grande liberdade à arquitectura na sua utilização, não sendo este um factor prejudicial na sua utilização. No entanto, as suas dimensões estão condicionadas pela facilidade de transporte, sendo que este é um factor que poderá influenciar muito o custo de cada solução. Em alguns documentos alemães consultados, verifica-se ser unânime a ideia de que o sucesso desta tipologia construtiva, sobretudo no que diz respeito à sua competitividade económica, depende claramente da adaptação dos elementos prefabricados aos sistemas de transporte e montagem em obra.

Os painéis prefabricados são transportados para a obra dentro de paletes em camiões, sendo a sua colocação no local de aplicação realizado com o auxílio de uma grua. Em obras de pequena dimensão será suficiente o sistema de elevação que alguns veículos de transporte têm. A norma alemã DIN [37] refere dois tipos de paletes para transporte dos painéis: a paleta de menor dimensão terá uma área para disposição dos painéis de 8x1,5m para painéis até 3,25m de altura, enquanto que a de maior dimensão terá 8x2,4m para painéis de 2,85m de altura.

O assentamento dos painéis é feito sobre uma camada de argamassa com uma régua de madeira a meio que permite manter o distanciamento desejado (aprox. 3cm) à base de suporte e o correcto nivelamento do painel. Os painéis são escorados até ao endurecimento da argamassa por motivos de segurança e para se obter a sua correcta verticalidade. A sua integração em obra é relativamente fácil de executar, uma vez que os painéis vêm já preparados para serem executadas as ligações entre os mesmos. Uma equipa de três trabalhadores qualificados poderá montar em estaleiro por volta de quarenta elementos prefabricados por dia [15].

Em cada painel prefabricado é colocada uma armadura constituída por elementos nas juntas horizontais e por varões na vertical, conferindo-lhe as características de uma alvenaria armada [34]. Os varões verticais são dispostos de modo a poderem ser utilizados no transporte e montagem dos painéis [Figura 68]. As armaduras de junta horizontal são colocadas de forma a deixar uns ilhós exteriores por onde se passam varões verticais (diâmetro 8mm) para ligação dos diferentes painéis. Após a ligação das armaduras estes espaços entre painéis são preenchidos com argamassa leve ou corrente de forma a garantir a coesão dos elementos e a estanquidade necessária à parede [Figura 69].

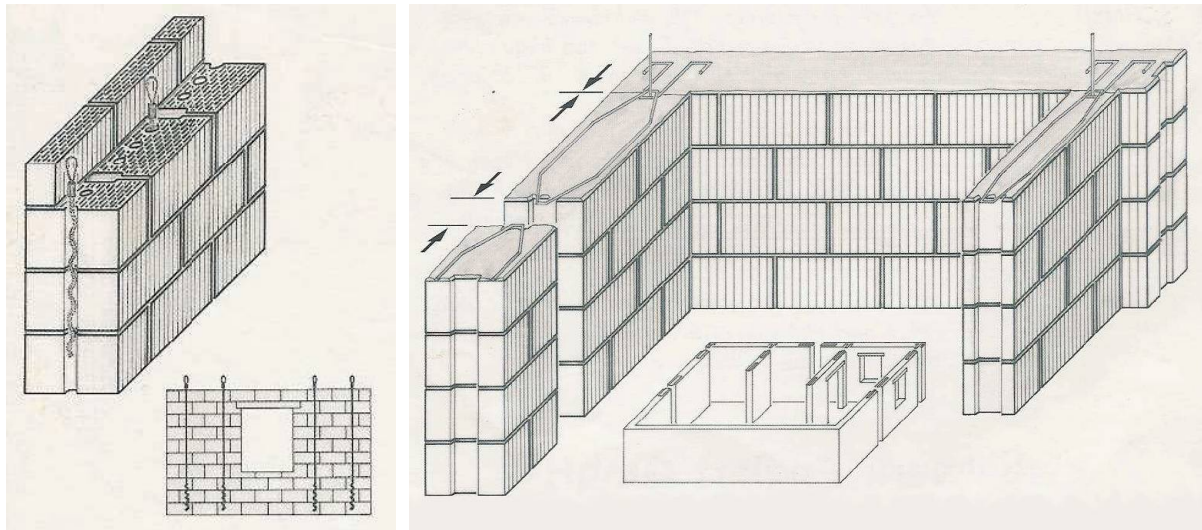


Figura 68: Esquema de disposição das armaduras nos painéis prefabricados (fonte: *Franken Ziegel* [76])



Figura 69: Montagem de painéis prefabricados em obra (fonte: *Franken Ziegel* [76])

Existem essencialmente três hipóteses para o preenchimento da junta entre painéis: (1) é feita uma espécie de cofragem lateral e derramada argamassa pelo topo; (2) é colocada argamassa manualmente de ambos os lados da junta, tentando preencher o mais possível a junta; (3) ou a argamassa é injectada com equipamento de bombagem. As superfícies da alvenaria na zona da junta deverão ser previamente humedecidas para evitar a retracção da argamassa.

Nos sistemas de prefabricação de painéis de alvenaria poderão ser integradas peças avulsas dos sistemas de alvenaria, assim como outros tipos de elementos de construção. O grande rigor dimensional e o controlo de tolerâncias permitem uma fácil integração de outros elementos prefabricados, como por exemplo janelas e portas. Este factor tem muita influência na rapidez de execução, uma vez que permite a encomenda antecipada desses outros elementos de construção, assim como a sua montagem rápida em obra [Figura 70]. Estes elementos poderão inclusivamente ser incorporados nas paredes ainda em fábrica, alargando as vantagens deste tipo de produção mais rigorosa aos restantes elementos integrados nas paredes.



Figura 70: Integração de janelas e portas prefabricadas (fonte: *La maison de Barbie et Philou* [68])

Com a concepção de um sistema integrado e um serviço especificamente orientado para o respectivo alvo de mercado, os fabricantes deste tipo de sistemas de prefabricação em alvenaria (para paredes, lajes e coberturas) estão actualmente em alguns países (como p.ex. na Alemanha) a alcançar uma cada vez maior posição no mercado de construção de habitação colectiva (já não só moradias, mas também edifícios de vários pisos), comprovando-se assim a boa relação custo/eficiência que os sistemas apresentam [10].

CAPÍTULO VI: Caso de estudo

No presente capítulo procura-se discutir a viabilidade dos sistemas de alvenaria com unidades de grande formato em Portugal, através do desenvolvimento de um caso de estudo, o projecto de uma moradia em Vila Nova de Gaia. Numa primeira parte apresenta-se uma prospecção de mercado, com as principais características e o custo dos blocos disponíveis, justificando-se a opção por um sistema de alvenaria confinada.

O mesmo caso de estudo serve para questionar as estratégias apontadas para o aumento de produtividade dos sistemas com base na prefabricação de painéis de alvenaria. Para tal, simula-se a adaptação do projecto a um sistema de alvenaria estrutural com painéis prefabricados, sublinhando-se as alterações efectuadas ao projecto, assim como as limitações existentes.

6.1. Apresentação do caso de estudo

A moradia unifamiliar em estudo irá localizar-se em Vila Nova de Gaia, estando o início da sua construção previsto para o primeiro trimestre do ano de 2010. Inserindo-se em área classificada no Plano Director Municipal como “Área Urbana de Transição”, entre uma área de habitação dispersa e um parque industrial, procurou-se que a sua integração urbana fosse potenciada por alguns elementos de “diálogo” com estas duas realidades tão distintas. Assim, se por um lado a moradia apresenta uma forma “tradicional” de habitação (pela sua escala, mas sobretudo pela sua forma com telhado de duas águas e pelo tipo de aberturas nos alçados) [Figura 71 e Figura 72], por outro, a escolha de determinados materiais (salientando-se o revestimento exterior em chapa metálica ondulada) estabelece a desejada relação com os pavilhões industriais existentes na proximidade.

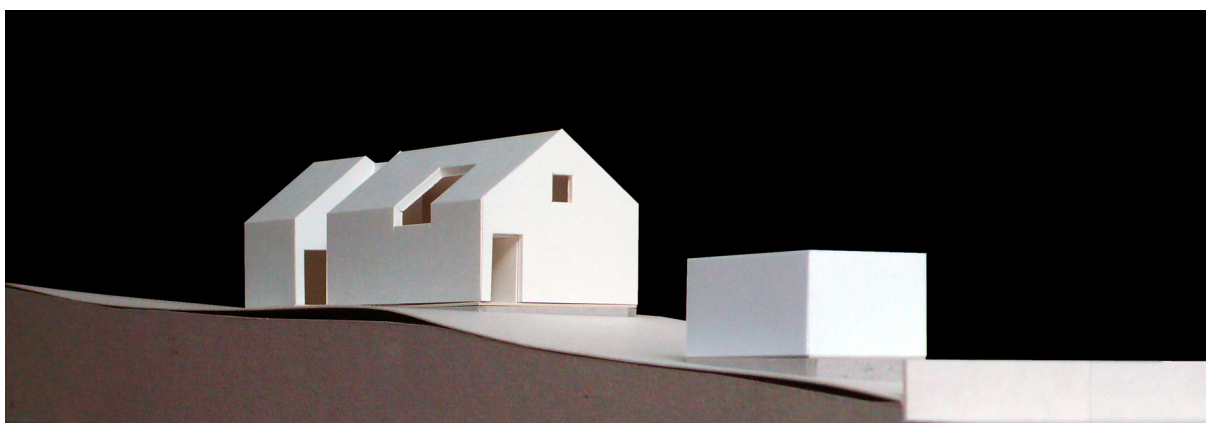


Figura 71: Vista da maquete de trabalho

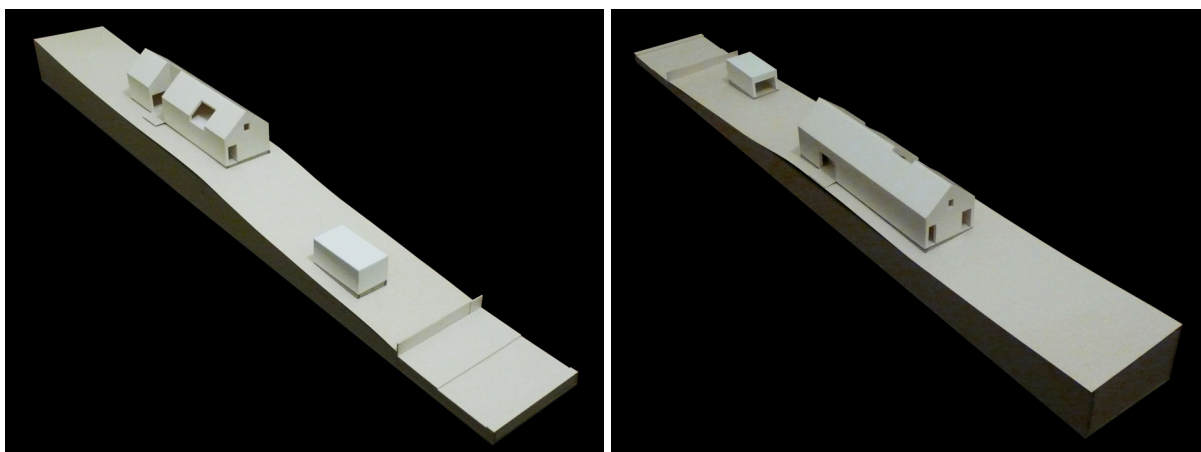


Figura 72: Vistas de Nascente e Poente (maqueta de trabalho)

Para além da intenção formal descrita, a organização interior e volumetria do edifício resultam da necessária adaptação ao programa preliminar estabelecido pelo Dono de Obra, assim como às condicionantes existentes, como por exemplo a largura exígua do terreno e o cumprimento dos regulamentos de âmbito nacional e municipal. A largura total do terreno é de aproximadamente onze metros, sendo que deveriam ser respeitados afastamentos mínimos (1,5m) aos limites laterais do terreno, assim como ser limitada a altura máxima (3m) dos alçados laterais [ver Figura 74 dos Anexos]. Assim, procurou-se organizar a distribuição interna da habitação, de forma a que não se abrissem vãos nos alçados laterais, e que fosse possível responder ao programa preliminar tirando partido de um segundo piso com pé-direito irregular.

Foram dispostos dois “pátios” ao longo da moradia, que por um lado permitissem abrir vãos ao longo dos alçados laterais (não abrindo directamente para os terrenos confinantes), e por outro oferecessem o conforto desejado a todas as divisões da moradia. Com o objectivo de limitar o comprimento e extensão do edifício no terreno, mas também de otimizar a construção (reduzindo custos), tirou-se partido do desvão do telhado para aí dispor algumas das divisões pretendidas pelo Dono de Obra. O segundo piso, com pé-direito mínimo de 1,83m e máximo de 3,25m, torna a moradia mais interessante do ponto de vista da sua espacialidade interior, distinguindo-se pela sua maior “interioridade” e conforto.

6.2. Concepção formal vs sistema construtivo

A utilização de sistemas de alvenaria estrutural impõe uma série de condicionantes aos projectos de arquitectura e estruturas, que deverão ser atendidas na fase inicial do seu

desenvolvimento. No entanto, algumas das condicionantes existentes, como se demonstraram neste caso os regulamentos urbanísticos, as dimensões exíguas do terreno, assim como outras condicionantes menos limitativas como o programa preliminar ou a integração urbana pretendida, poderão tornar menos viável partir-se de uma ideia inicial de um sistema construtivo para a concepção formal do edifício. Apesar de no desenvolvimento do projecto de arquitectura se ter atendido a várias questões relacionadas com o sistema construtivo pretendido, este apenas foi possível definir com maior rigor numa fase relativamente adiantada do projecto.

Um dos requisitos definidos no início do desenvolvimento do projecto foi a sua optimização do ponto de vista da relação custo/benefício. O tosco, apesar de ter menor influência no custo final da obra que os acabamentos, as caixilharias, ou por exemplo os equipamentos de climatização, deveria responder também a esta exigência. Durante a fase de licenciamento do projecto de arquitectura, já com a forma e volumetria definidas, estudaram-se as soluções construtivas possíveis, no sentido de se optar pela que melhor se adaptava ao edifício em concreto, assim como se demonstrasse uma solução optimizada e adequada aos recursos existentes (materiais e técnicas de execução).

Depois de analisadas as diferentes soluções para o tosco, optou-se por um sistema construtivo em alvenaria confinada, com blocos aligeirados (“blocos térmicos”) de furação vertical, paredes interiores em tijolo vazado corrente, fundações pontuais com sapatas, lajes de piso e cobertura aligeiradas e laje térrea em massame armado. A opção por um sistema construtivo relativamente “tradicional”, com a utilização de uma estrutura em betão armado, deveu-se sobretudo aos seguintes factores:

- a forma irregular das paredes acima da cota da laje do Piso 1, tendo nos alçados laterais menos de 50cm entre as vigas de apoio das lajes de piso e cobertura, e nos alçados de topo uma configuração triangular, sugere a utilização de paredes em betão armado acima da cota da laje de piso;
- a fidelização da generalidade dos construtores portugueses aos sistemas construtivos com estruturas em betão armado, já amplamente experimentados, com rotinas e modos de fazer instaurados, faz com que estes sistemas ainda se apresentem como soluções economicamente compensadoras, quando comparados por exemplo com os sistemas construtivos em alvenaria estrutural, penalizados em termos de custos pela falta de experimentação e adequação das técnicas de construção a estes sistemas.

Para além dos factores apontados, a utilização de um sistema de alvenaria estrutural (simples ou armada) apresentaria ainda as seguintes limitações:

- a inexistência de sistemas integrados de alvenaria em Portugal para utilização em alvenaria resistente (simples ou armada);
- a opção por um sistema de alvenaria estrutural apenas anularia a necessidade de execução dos pilares em betão armado até à cota da laje de piso, e, por outro lado, implicaria a utilização de fundações contínuas em betão armado;
- o aumento da área total de paredes, tanto exteriores como interiores (para contraventamento), obrigaria a um aumento da área de implantação da moradia (uma vez que os espaços interiores se encontram já com dimensões reduzidas), reduzindo a percentagem de área útil em relação à área bruta de construção.

Uma das disposições construtivas que foi tida em conta desde o início do desenvolvimento do projecto de arquitectura, que se relaciona com as estratégias apontadas ao longo do trabalho para a optimização dos sistemas de alvenaria e para a melhoria da qualidade construtiva, diz respeito à execução de lintéis na zona dos vãos. Todas as caixilharias exteriores e carpintarias interiores do piso térreo têm a altura total do pé-direito (2,40m), evitando-se assim a execução de lintéis em todos os vãos deste piso. Esta opção arquitectónica e construtiva tem as seguintes vantagens na execução da obra:

- dispensa a utilização de elementos estruturais na zona dos lintéis sobre os vãos, o que no caso de alvenarias com blocos de grande formato tem ainda maior relevo que em alvenarias com os “tradicionais” tijolos cerâmicos, pois a sua execução é mais difícil e a concentração de cargas maior;
- reduz a possibilidade de ocorrência de patologias da construção, devidas à má execução dos pontos singulares no contorno dos vãos (pela concentração de forças aí existente, estes são pontos críticos da fachada);
- diminui o tempo de execução da obra, uma vez que não será preciso realizar paredes de alvenaria nas zonas dos peitoris nem dos lintéis (com o necessário escoramento).

6.3. Selecção das unidades de alvenaria

De modo a definir a solução construtiva para as paredes exteriores, realizou-se uma pesquisa de unidades de alvenaria de grande formato de produção nacional, tendo-se obtido informações acerca dos seus desempenhos mecânico, térmico, acústico, assim como das suas dimensões e custo. No

quadro que se apresenta em baixo [Quadro XXI] sintetizam-se as características mais importantes para a escolha de algumas das unidades de alvenaria analisadas.

Quadro XXI: Características de algumas unidades de alvenaria disponíveis no mercado nacional

Denominação comercial Fabricante		Dimensões (cm) c x l x a	Res. média à compr. (N/mm ²)	Coefficiente “U” (W/m ² .°C) ¹	Custo (€/m ²) ²
“Conforto” Spral ³		35 x 35 x 19	2,6	0,50 ⁴	23,71
“Termoacústico” Artebel		40 x 31,5 x 19	≥ 3,25	0,57 ⁵	12,25
“Térmico” Artebel		50 x 20 x 20	≥ 2,5	1,30 ⁵	7,90
“Térmico” Sopref		49 x 20 x 19	> 2,5	1,30 ⁵	7,40
“Térmico” Preceram		30 x 24 x 19	≥ 3,0	0,93 ⁶	7,00
“Térmico” Preceram		30 x 19 x 19	≥ 3,0	1,11 ⁶	5,80

1 - Para os coeficientes térmicos “U” dos blocos considerou-se reboco tradicional em ambas as faces da parede.

2 - Valores apenas indicativos à data de Setembro de 2009 (preço em fábrica e sem IVA).

3 - A Maxit é detentora da patente, sendo que a Spral e outras empresas o irão produzir a partir de data ainda não definida.

4 - Cálculo com base no método dos elementos finitos e de acordo com a norma NP EN 1745 [57] (FEUP [23]).

5 - Cálculo com base nas normas NP EN 1745 [57] e EN ISO 6946 [51].

6 - Não se conhece o método de cálculo.

Da prospecção de mercado efectuada, poderão destacar-se os seguintes aspectos relativos à produção e comercialização de unidades de alvenaria de grande formato em Portugal:

- praticamente não existem soluções que permitam executar alvenarias exteriores de pano simples sem a aplicação de materiais de isolamento térmico adicionais;
- existem diferentes formas de cálculo da resistência térmica que originam valores (fornecidos pelos fabricantes) muito díspares e por vezes pouco fiáveis para comparação (como p.ex. quando calculados com base no documento técnico ITE 50 [26]);
- quase todas as unidades de alvenaria analisadas dispõem de marcação CE, apesar de algumas não apresentarem informação relativa à sua resistência térmica;
- a caracterização das unidades de alvenaria não apresenta ainda o rigor que seria desejável, não só ao nível do seu desempenho térmico, mas também por exemplo ao nível da resistência mecânica, sendo necessário evoluir para a caracterização experimental das unidades em laboratórios acreditados;
- os sistemas integrados para alvenaria estrutural (simples, armada ou confinada) encontram-se ainda em estado embrionário, sendo que os poucos sistemas que existem, com peça base e peças complementares, se destinam a alvenaria de preenchimento ou confinada, disponibilizando poucas peças complementares (normalmente apenas peças de cofragem de pilares e peças de lintel).

Dentro das soluções que se encontraram, poucas unidades de alvenaria cumprem por si só (considerando revestimento de reboco em ambas as faces da alvenaria) o RCCTE [62], para aplicação na área do caso de estudo (Vila Nova de Gaia - Zona climática de Inverno I2 - $U \leq 0,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). Das duas hipóteses que se mostram no quadro comparativo, o bloco “Conforto” não se encontra em produção neste momento, sendo que o seu fornecimento não é garantido no arranque da obra.

As unidades de alvenaria com melhores desempenhos térmicos, quando utilizadas em alvenaria de preenchimento ou confinada, implicam a utilização de forras térmicas apenas na zona da estrutura em betão armado, o que será uma vantagem em relação às unidades de alvenaria menos isolantes. No entanto, a diferença de custo entre estes dois tipos de unidades é acentuada, reflectindo no custo total da obra de alvenaria.

Uma vez que seria necessário forrar com isolamento térmico uma grande parte da área da envolvente (toda a área em betão armado e laje aligeirada acima da cota da laje do Piso 1), optou-se por um bloco de alvenaria de menor dimensão, com menor capacidade isolante, revestido pelo exterior com isolamento [ver Figura 75 dos Anexos]. Por um lado, esta opção garante a continuidade e homogeneidade do tosco, deixando de existir diferentes espessuras e saliências nas paredes exteriores. Por outro lado, o acréscimo de área de isolamento térmico pelo exterior, compensado pelo

menor custo da solução de alvenaria, não se reflecte negativamente no custo final da solução de tosco.

No sentido de estimar o custo da solução, foi pedido um orçamento para fornecimento e aplicação de isolamento térmico do tipo espuma de poliuretano projectada, com 4cm de espessura, em fachadas e coberturas. O valor por metro quadrado é de aproximadamente 6,30€/m², o que somado por exemplo aos 7,00€/m² do bloco “Térmico” de 24cm da Preceram dá 13,30€/m². Este valor final da solução com isolamento térmico aproxima-se da solução mais económica de blocos com melhores desempenhos térmicos, que é o bloco “Termoacústico” da Artebel (12,25€/m²).

A solução de alvenaria confinada com o bloco “Térmico” de 24cm da Preceram e isolamento pelo exterior, se por um lado oferece uma maior homogeneidade ao tosco da envolvente do edifício (uma vez que a forra térmica tem sempre a mesma espessura e é contínua), por outro garante um melhor isolamento térmico da envolvente. Em zona corrente da parede de alvenaria, esta solução apresenta um coeficiente de transmissão térmica ($U=0,45\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) inferior ao coeficiente de transmissão térmica do bloco “Termoacústico” ($U=0,57\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$). A diferença seria ainda mais acentuada se o coeficiente de transmissão térmica do bloco “Termoacústico” não considerasse o reboco exterior, uma vez que no caso de estudo está previsto um sistema de fachada ventilada pelo exterior. Na solução de alvenaria confinada com isolamento pelo exterior, o coeficiente de transmissão térmica na zona de pontes térmicas planas (elementos de betão armado com 24cm, mais 4cm de isolamento) é de $0,78\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

A aplicação de uma camada de isolamento em toda a envolvente é também compatível com a solução de revestimento (chapas metálicas onduladas num sistema de fachada ventilada). A espuma de poliuretano projectada tem ainda a vantagem de criar uma segunda barreira de estanquidade, protegendo o tosco de possíveis infiltrações de água, uma vez que este sistema de revestimento em fachada ventilada tem fixações por parafusos ou rebites por onde poderá haver infiltrações.

6.4. Sistema com painéis prefabricados de alvenaria

Depois da análise efectuada aos produtos e sistemas existentes em Portugal, constatou-se que os sistemas construtivos com unidades de alvenaria de grande formato para utilização sem isolamentos térmicos adicionais, tanto em alvenaria simples, armada ou confinada, apresentam ainda algumas limitações. Destas limitações poderão destacar-se o custo excessivo de algumas unidades de alvenaria e a falta de soluções integradas para a execução dos diferentes pontos singulares.

Dentro dos factores que condicionam a utilização de sistemas de alvenaria estrutural, poderão referir-se ainda a pouca aceitação por parte da generalidade dos construtores portugueses,

resultando em orçamentos elevados para a sua execução, assim como a resistência por parte de alguns projectistas de estruturas. No caso dos projectistas de estruturas, esta resistência resulta provavelmente da sua formação académica e da prática profissional, eventualmente demasiado direccionadas para as estruturas em betão armado, mas também devido ao desenvolvimento tardio dos regulamentos de cálculo de estruturas em alvenaria, nomeadamente dos Eurocódigos estruturais (EC6 [58] e EC8 [59]).

O aumento dos custos de execução deve-se também ao facto das técnicas e dos sistemas de construção ainda não se apresentarem optimizados para este tipo de sistemas construtivos. Por outro lado, não menos importante para a ponderação dos custos das soluções, o aumento da área total de paredes reduz a percentagem de área útil em relação à área bruta de construção, com implicações na relação entre o custo total e o benefício que o Dono de Obra retira do seu investimento.

De forma a promover a utilização dos sistemas de alvenaria com unidades de grande formato, ao longo do trabalho foram apontadas algumas estratégias para a sua maior competitividade e racionalidade. O desenvolvimento de sistemas integrados de alvenaria e de unidades rectificadas para execução de juntas de assentamento delgadas, ou por exemplo a utilização de utensílios e técnicas de construção adaptadas aos sistemas, poderão tornar estes sistemas muito mais competitivos do ponto de vista da economia e produtividade em obra. No entanto, a prefabricação de painéis de alvenaria surge como uma hipótese com capacidade para revolucionar por completo as técnicas de construção, prevendo-se que permita alcançar resultados muito superiores, tanto do ponto de vista da economia e produtividade da obra do tosco, como da sua qualidade construtiva.

Analisando a arquitectura contemporânea, sobretudo em edifícios de habitação unifamiliar ou plurifamiliar, facilmente se percebe a utilidade de sistemas construtivos que se adaptem a uma linguagem arquitectónica cada vez mais vulgar em que os vãos (de grande dimensão) se encontram “entalados” entre as lajes de piso, interrompendo panos “cegos” de fachada com maior ou menor dimensão [Figura 73]. Esta é uma tendência que teve início ainda durante o período da Arquitectura Moderna, em meados do século XX, como consequência do “aligeiramento” da construção, e, numa fase mais recente, tornada possível pela melhoria constante dos desempenhos das caixilharias e dos vidros, que ao permitirem cumprir os regulamentos actuais (relativos ao comportamento térmico e acústico), continuam a possibilitar essa mesma liberdade formal à concepção arquitectónica.



Figura 73: Habitação colectiva, Azurara, Arqt.^a Paula Santos; Casa das Alosas, S. Tomé de Covelas, e Casa Trinitária, Porto, Arqt.^o José Paulo dos Santos

As tendências observadas na construção nos dias de hoje reforçam a ideia de que a prefabricação de panos de alvenaria pode ser economicamente viável e estrategicamente interessante para a indústria de produção de unidades de alvenaria. A prefabricação é apontada como uma solução para o incremento de competitividade das alvenarias realizadas com blocos de grande formato, sobretudo no âmbito das alvenarias estruturais simples ou armadas.

Se por um lado a prefabricação reduz o tempo de execução das obras, por outro garante a qualidade de execução das alvenarias, pois o controlo de qualidade é feito durante o processo industrial que tem por base sistemas mecânicos automatizados. Por outro lado, o peso das unidades de alvenaria de grande formato deixa de ser um problema, uma vez que a sua manipulação para execução da alvenaria passa a ser feita por robôs mecânicos. Assim, o desenvolvimento de unidades de alvenaria com melhores desempenhos (mecânico, mas sobretudo térmico) deixa de estar condicionado pelo seu peso ou dimensão.

De forma a equacionar a viabilidade dos sistemas de prefabricação, adaptou-se o projecto de arquitectura do caso de estudo, comparando a solução prevista (em alvenaria confinada) com a solução em painéis prefabricados de alvenaria resistente. As unidades de alvenaria utilizadas na solução de alvenaria confinada foram os blocos “Térmicos” da Preceram, com 30x24x19cm (c x l x a), e no caso da solução com painéis prefabricados de alvenaria foram os blocos “Conforto” da Spral, com 35x35x19cm (c x l x a).

A solução de alvenaria confinada apresenta uma estrutura em betão armado com pilares de secção 24x24cm, adaptados à largura da unidade de alvenaria [ver Figura 76 dos Anexos]. As fundações são pontuais (sapatas), unindo-se por vigas onde se apoiam os panos de alvenaria. Dada a dimensão dos elementos estruturais em betão armado, algumas das prescrições para o projecto de

estruturas em alvenaria confinada (existentes no Eurocódigo 6 [46]) não foram atendidas, nomeadamente o distanciamento máximo de 4m entre montantes de betão armado, assim como a execução destes elementos estruturais nas ombreiras de vãos com área superior a $1,5\text{m}^2$. Havendo necessidade de reforçar a estrutura em betão armado, nomeadamente nos vãos de maior dimensão, poderá aumentar-se a dimensão de alguns dos pilares (na direcção da parede) sem prejuízo da solução.

Na alvenaria estrutural (simples ou armada) com painéis prefabricados considerou-se uma fundação contínua, que percorre toda a envolvente da construção. A dimensão de coordenação horizontal foi neste caso resultado da dimensão do bloco (35x35cm), tendo definido a regra para a distribuição dos painéis. No caso da alvenaria confinada, os eixos principais de coordenação têm valores múltiplos de 10cm e definem a localização dos elementos estruturais em betão armado, garantindo uma melhor implantação dos mesmos em obra (apesar da execução prévia das paredes de alvenaria). Em ambos os casos a solução construtiva para o piso superior (acima da cota da laje de piso) manteve-se, sendo constituída por paredes de betão armado e lajes aligeiradas. A dimensão de coordenação vertical das paredes de alvenaria é igual para ambos os sistemas, uma vez que os dois tipos de unidades de alvenaria apresentam a mesma dimensão de coordenação vertical (20cm).

Na solução em alvenaria estrutural (simples ou armada) com painéis prefabricados, uma vez que não existe normalização europeia ou nacional para este tipo de sistemas prefabricados, seguiram-se algumas das indicações existentes na norma alemã DIN [39], no que diz respeito às contingências de transporte e dimensões dos painéis de alvenaria. Atendeu-se à dimensão máxima corrente destes painéis na Alemanha (aproximadamente 7m), assim como às dimensões das paletes de transporte (as de maior dimensão, para painéis até 2,85m de altura, têm uma área útil de $8 \times 2,4\text{m}$, e as de menor dimensão, para painéis até 3,25m de altura, têm uma área útil de $8 \times 1,5\text{m}$).

Considerando os referidos limites, procurou-se otimizar a dimensão e distribuição dos painéis prefabricados no tosco do Piso 0 da moradia [ver Figura 77 dos Anexos], dispondo-se alguns painéis (onde possível) no sentido transversal da construção para melhor contraventamento da estrutura. Com a optimização das dimensões dos painéis procurou-se reduzir ao mínimo a variedade de painéis com diferentes comprimentos. Assim, resultaram seis tipos de painéis (P1 a P6), sendo que dois tipos se referem a situações de excepção com paredes de pequena dimensão (P1 e P2). O conjunto total de painéis tem uma área de ocupação para transporte relativamente pequena, podendo ser transportados em apenas duas paletes de maior dimensão, ou seja, em apenas dois veículos de transporte.

Da comparação entre as duas soluções estudadas poderão tirar-se algumas conclusões. A área bruta de construção, no caso da alvenaria confinada, é de $128,30\text{m}^2$, enquanto que no caso da solução com painéis prefabricados de alvenaria a área bruta é de $141,20\text{m}^2$. Este valor representa um acréscimo de $12,90\text{m}^2$ em relação à alvenaria confinada, o equivalente a uma divisão interior da

dimensão de um quarto. No entanto, esta diferença de área terá que entrar em linha de conta com a diferença de área útil resultante, uma vez que também existiu um aumento desta área.

A área útil de habitação na solução com alvenaria confinada é de $109,20\text{m}^2$, enquanto que na solução com painéis prefabricados de alvenaria é de $114,30\text{m}^2$. Neste caso houve apenas um acréscimo de $5,10\text{m}^2$ de área útil, resultado directo da necessidade de adaptação do projecto à dimensão dos painéis de alvenaria, tendo-se procurado que os espaços interiores da habitação não ficassem muito diferentes nas duas soluções e que estivessem de acordo com os limites impostos pela regulamentação aplicável a edifícios. A percentagem de área útil em relação à área bruta de cada solução é, no caso da alvenaria confinada, de 85,1%, enquanto que no caso da solução com painéis prefabricados de alvenaria é de apenas 80,9%. A primeira solução apresenta $19,10\text{m}^2$ de área total de paredes no Piso 0, comparada com $26,90\text{m}^2$ da segunda solução. Por outro lado, o aumento do volume total de construção poderá ser facilmente percebido nas perspectivas isométricas das duas soluções [ver Figura 76 dos Anexos].

Este estudo comparativo entre áreas das duas soluções permite deduzir que, quando em situações em que os limites exteriores da construção estão perfeitamente definidos, a opção por uma solução em alvenaria estrutural com blocos de grande formato poderá ditar uma redução significativa da área útil de construção, resultando num menor rendimento da solução construtiva. No entanto, noutras situações sem o mesmo tipo de condicionantes, a solução poderá ser economicamente vantajosa, sobretudo se a prefabricação de painéis de alvenaria permitir reduzir consideravelmente o custo total da solução construtiva (materiais mais execução da obra).

Fazendo agora uma análise da adaptação da solução estrutural em painéis de alvenaria aos princípios básicos de concepção estabelecidos nos Eurocódigos estruturais (EC6 e EC8), poderão destacar-se três principais aspectos a avaliar no projecto: os requisitos geométricos em paredes resistentes (Quadro NA.2.X2 do Anexo Nacional do EC8 [59]), a área mínima de paredes resistentes em cada direcção (Quadro NA.2.X3 do Anexo Nacional do EC8 [59]), e a regularidade estrutural para efeito do projecto sísmo-resistente (EC8 [60]).

Os blocos “Conforto” utilizados na solução de painéis prefabricados, atendendo à percentagem de furação e espessura dos septos, inserem-se no Grupo 2 de unidades de alvenaria do Eurocódigo 6 [46], significando isto que, mesmo em zona considerada de baixa sismicidade, não deverão ser utilizados em alvenaria simples, uma vez que o Anexo Nacional do Eurocódigo 8 [59] estabelece como requisito mínimo para este tipo de alvenaria estrutural unidades do Grupo 1.

Quanto aos requisitos geométricos dos painéis prefabricados (paredes resistentes de alvenaria armada), a sua espessura efectiva ($t_{ef}=350\text{mm}$) é superior ao mínimo estabelecido ($t_{ef,min}=150\text{mm}$) no Anexo Nacional do EC8 [59]. A altura efectiva das paredes ($h_{ef}=1,8\text{m}$), de acordo com o Eurocódigo 6 [46], é resultado do produto entre a altura livre da parede ($h=2,4\text{m}$) e o factor de redução ($\rho_2=0,75$),

que é definido atendendo à posição da parede e às ligações com paredes perpendiculares e com lajes de piso e cobertura. Deste modo, o rácio entre espessura e altura efectivas da parede ($h_{ef}/t_{ef}=5,1$) é inferior ao máximo estabelecido ($(h_{ef}/t_{ef})_{max}=16$) no Anexo Nacional do EC8 [59]. Por outro lado, da relação entre o comprimento (l) e a maior das alturas livres da parede ($h=2,4m$), no caso do painel com menor comprimento ($l=3,325m$), resulta um valor $(l/h)_{min}=1,4$ superior ao mínimo estabelecido $(l/h)_{min}=0,3$ na mesma norma. Para a análise deste último parâmetro não se consideraram os painéis P1 e P2 (de menor dimensão) por se encontrarem em situações de excepção e assemblados a outros painéis de maior dimensão.

Quanto à área mínima de paredes resistentes em cada direcção do edifício, no Anexo Nacional do EC8 [59] refere-se, para alvenaria armada e em Zona Sísmica D (V.N. de Gaia), a percentagem mínima de 2% de área de parede em ambas as direcções, relativamente à área total dos pisos. A área total do piso térreo da moradia é de $141,2m^2$. A área total de paredes resistentes em alvenaria na direcção longitudinal é de $18,1m^2$ e na direcção transversal é de $5,0m^2$, equivalendo a 12,8% e 3,5% da área total do piso, respectivamente. Este requisito geométrico é assim observado em ambas as direcções da estrutura do edifício.

Quanto à regularidade estrutural do edifício, para efeito do projecto sísmo-resistente, no Eurocódigo 8 [60] refere-se a distinção entre estruturas regulares e não regulares. Esta distinção tem implicações em alguns aspectos do projecto sísmico, entre os quais o modelo estrutural e o método de análise, podendo ambos ser simplificados ou não, assim como no valor do coeficiente de comportamento a considerar, podendo este ser reduzido dependendo do tipo de não regularidade do edifício em elevação. No entanto, a análise da regularidade estrutural tem por base alguns critérios não quantificados e outros de difícil avaliação. Ainda assim, poderá destacar-se um dos aspectos relativos à regularidade estrutural da solução construtiva com painéis prefabricados de alvenaria armada.

Em termos da regularidade estrutural em planta, a solução demonstra-se assimétrica na direcção transversal do edifício, uma vez que, para além de estarem localizadas nos topos da moradia, as paredes resistentes transversais se encontram assimetricamente distribuídas no seu interior. Para garantir a simetria estrutural nesta direcção, garantindo um maior equilíbrio e melhor distribuição dos elementos estruturais, seria necessário incluir novos elementos estruturais na zona da escada da moradia, o que obrigaria a profundas alterações à arquitectura do edifício, razão pela qual não se previu essa alteração no esquema desenvolvido para este sistema construtivo.

CAPÍTULO VII: Considerações finais

Como resultado do estudo desenvolvido, poderão salientar-se alguns dos principais aspectos que limitam a utilização de sistemas de alvenaria estrutural com unidades de grande formato em Portugal:

- o desenvolvimento de unidades de alvenaria para utilização em paredes exteriores simples em alvenaria estrutural (simples, armada ou confinada), com bons desempenhos térmico e mecânico, só muito recentemente é que se iniciou, não existindo ainda muitas soluções em comercialização;
- algumas unidades de alvenaria ainda não estão devidamente ensaiadas e caracterizadas, sendo que a sua produção e comercialização ainda se rege pelos parâmetros anteriores em que não se impunham grandes exigências às unidades de alvenaria (ao tijolo corrente de pequeno formato, vazado ou maciço);
- pelo desenvolvimento tardio das unidades e sua reduzida utilização em Portugal, os sistemas integrados de alvenaria encontram-se ainda em estado embrionário, sendo que apenas algumas soluções de blocos “térmicos” para alvenaria de preenchimento ou confinada têm algumas peças complementares à peça base do sistema (normalmente apenas peças de cofragem de pilares e peças de lintel);
- a generalidade dos construtores portugueses ainda demonstram resistência na utilização destes sistemas construtivos, dando valores superiores ao que seria expectável para a execução da obra;
- os projectistas de estruturas demonstram também alguma resistência à alvenaria estrutural (sobretudo simples ou armada), resultado da sua formação académica e da prática profissional, talvez demasiado direccionadas para as estruturas em betão armado, mas também devido ao desenvolvimento tardio dos regulamentos de cálculo de estruturas em alvenaria, nomeadamente dos Eurocódigos estruturais (EC6 [58] e EC8 [59]);
- a resistência à utilização por parte dos construtores e a falta de habituação aos sistemas fazem com que nas obras de alvenaria com unidades de grande formato não se usem sistemas e técnicas de execução adequadas a estes sistemas, por um lado não permitindo aumentar a produtividade em obra, e por outro criando a ideia de que estes são sistemas com pouca rentabilidade.

Por outro lado, o presente estudo permitiu identificar algumas das principais formas de optimização dos sistemas de alvenaria com unidades de grande formato, destacando-se as seguintes:

- ao nível do desenvolvimento de unidades de alvenaria, os blocos com superfícies rectificadas para utilização com argamassas cola em juntas de assentamento delgadas, assim como os sistemas de encaixe para execução de junta vertical seca, permitem por um lado obter maiores ritmos de execução e menores gastos de material, e por outro garantir uma melhor qualidade construtiva da obra do tosco (melhores desempenhos mecânico, térmico, acústico, ou p.ex. de estanquidade);
- ao nível do desenvolvimento de sistemas integrados de alvenaria, a utilização de peças complementares à peça base do sistema para a execução dos diferentes pontos singulares de uma construção, permitem obter igualmente maior economia e produtividade em obra e, simultaneamente, maior qualidade construtiva;
- ao nível das técnicas de construção, alguns utensílios e sistemas próprios para a execução das alvenarias, como por exemplo andaimes reguláveis em altura com dois níveis de plataformas, pegas para o manuseamento das unidades, ou espalhadores e doseadores de argamassa, permitem melhorar consideravelmente os ritmos de execução da obra, mas também observar as indicações para a saúde e segurança nas obras, reduzindo o esforço físico do trabalho de assentamento e o risco de lesão dos trabalhadores.

No desenvolvimento do estudo, identificaram-se a ergonomia e a coordenação dimensional modular como dois dos principais parâmetros a atender para uma melhoria da economia e produtividade, assim como para uma maior utilização destes sistemas de alvenaria, vulgarmente denominados de “nova geração”.

Em relação à ergonomia, salientou-se o enorme desgaste que advém do trabalho de assentamento de alvenarias (com todos os tipos de unidades), pela frequência e repetição dos movimentos, pelo tipo de esforço e postura corporal normalmente utilizada, assim como a intensificação deste desgaste pelo aumento do peso das unidades de alvenaria de grande formato. Como forma de limitar este desgaste, foram referenciadas normas, regulamentos e regras de boas práticas relativas à movimentação manual de cargas nas obras de construção civil, assim como se referiram formas existentes para aligeiramento das unidades de alvenaria.

Em relação à coordenação dimensional modular, o estudo permitiu identificar diferentes formas de coordenação dos elementos de construção e de relação entre elementos estruturais e não-estruturais, assim como a sua importância nas diferentes fases de planeamento das obras (fase de

projecto) e de implementação na obra (fase de execução). Constatou-se que a coordenação dimensional modular, no caso das alvenarias resistentes, tem um papel de relevo na adaptação da unidade e sistema de alvenaria a uma regra abrangente, englobando os restantes elementos de construção como por exemplo caixilharias, revestimentos e pavimentos, contribuindo para a optimização dos sistemas do ponto de vista da sua economia e produtividade, assim como da qualidade de execução da obra.

Após análise das evoluções mais recentes em algumas das indústrias de construção europeias (que marcam o desenvolvimento tecnológico dos sistemas de alvenaria), concluiu-se que a prefabricação de painéis de alvenaria pode ser uma hipótese muito interessante para se alcançar a desejada optimização dos sistemas de alvenaria, revolucionando-os por completo e aumentando a sua competitividade em relação aos sistemas correntes de construção. Algumas das limitações que os sistemas de alvenaria com unidades de grande formato apresentam são resolvidas com estes sistemas de prefabricação, como resultado da transferência do processo principal de execução para o recinto industrial. Apontaram-se as seguintes vantagens principais na utilização destes sistemas de prefabricação:

- redução e mais fácil controlo do custo da obra e do seu tempo de execução;
- melhoria da qualidade construtiva, pelo controlo permanente do fabrico e pela redução da mão-de-obra (hoje muito desqualificada) em estaleiro, resultando numa melhor execução das juntas de assentamento (com relevo no comportamento da alvenaria) e dos diferentes pontos singulares (evitando-se situações de improviso);
- aumento do controlo dimensional e de tolerâncias, permitindo facilmente a integração de outros elementos de construção, que poderá inclusivamente ser realizada ainda em fábrica (p.ex. janelas, portas, caixas de estore, instalações ou elementos de betão armado como cintas e montantes);
- redução da intensidade do trabalho de assentamento e consequentemente do risco de lesões, uma vez que o processo de fabrico é apoiado por robôs mecânicos;
- maior segurança no trabalho e diminuição do risco de acidentes;
- cumprimento dos prazos definidos devido a um processo de fabrico e montagem praticamente independente das condições climáticas;
- ausência de projecto específico de alvenaria, uma vez que a melhor distribuição de unidades e resolução de todos os pontos singulares é obtida através de programação informática e acompanhamento de técnicos especializados dos próprios fabricantes.

Por fim, o estudo permitiu concluir que existe ainda um longo percurso a realizar para a melhoria da competitividade dos sistemas de alvenaria de “nova geração” em Portugal, podendo-se aplicar vários tipos de estratégias para a sua melhoria, que vão desde procedimentos mais simples até ao desenvolvimento de sistemas avançados que requerem uma maior adaptação (também tecnológica) da indústria da construção.

Como objectivos pessoais para a continuação da investigação no âmbito das paredes exteriores simples em alvenaria refere-se o acompanhamento da evolução de produtos e sistemas para a execução deste tipo de alvenarias em Portugal, mas também em países do centro da Europa, que marcam o progresso tecnológico dos sistemas de alvenaria. Tem-se como objectivo promover a utilização destes sistemas junto de intervenientes no processo construtivo, entre os quais projectistas, donos de obra e sobretudo entidades executantes, salientando as suas vantagens competitivas e de melhoria da qualidade construtiva dos edifícios. Nesse sentido, o principal objectivo será aprofundar as questões relativas à economia e produtividade dos sistemas construtivos, através do acompanhamento e avaliação de resultados da execução de diferentes obras (nomeadamente a obra do caso de estudo), desenvolvendo posteriormente estudos técnico-económicos comparativos mais exaustivos entre soluções construtivas em alvenaria (sobretudo estrutural) e soluções correntes.

Por último, pretende-se avaliar, em conjunto com fabricantes e/ou fornecedores de unidades de alvenaria para paredes exteriores simples, a possibilidade de implementação de sistemas de prefabricação de painéis de alvenaria em Portugal, que inclusivamente estejam integrados numa lógica de sistema de prefabricação mais completo, reunindo outros elementos de construção prefabricados (p.ex. lajes de piso e de cobertura e paredes interiores).

ANEXOS: Peças desenhadas

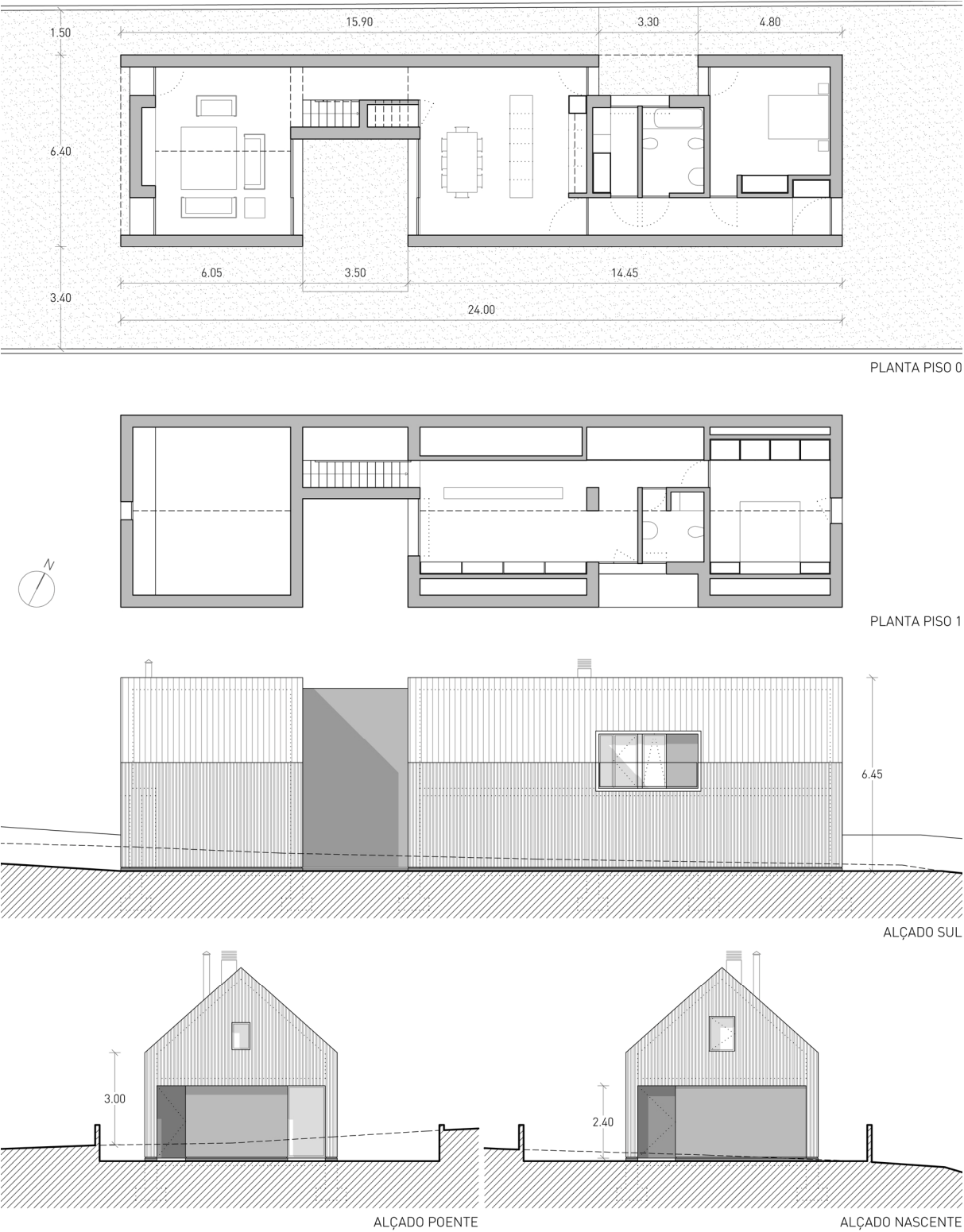


Figura 74: Projecto de licenciamento de moradia em Vila Nova de Gaia - Plantas Pisos 0 e 1 - Esc.1:200

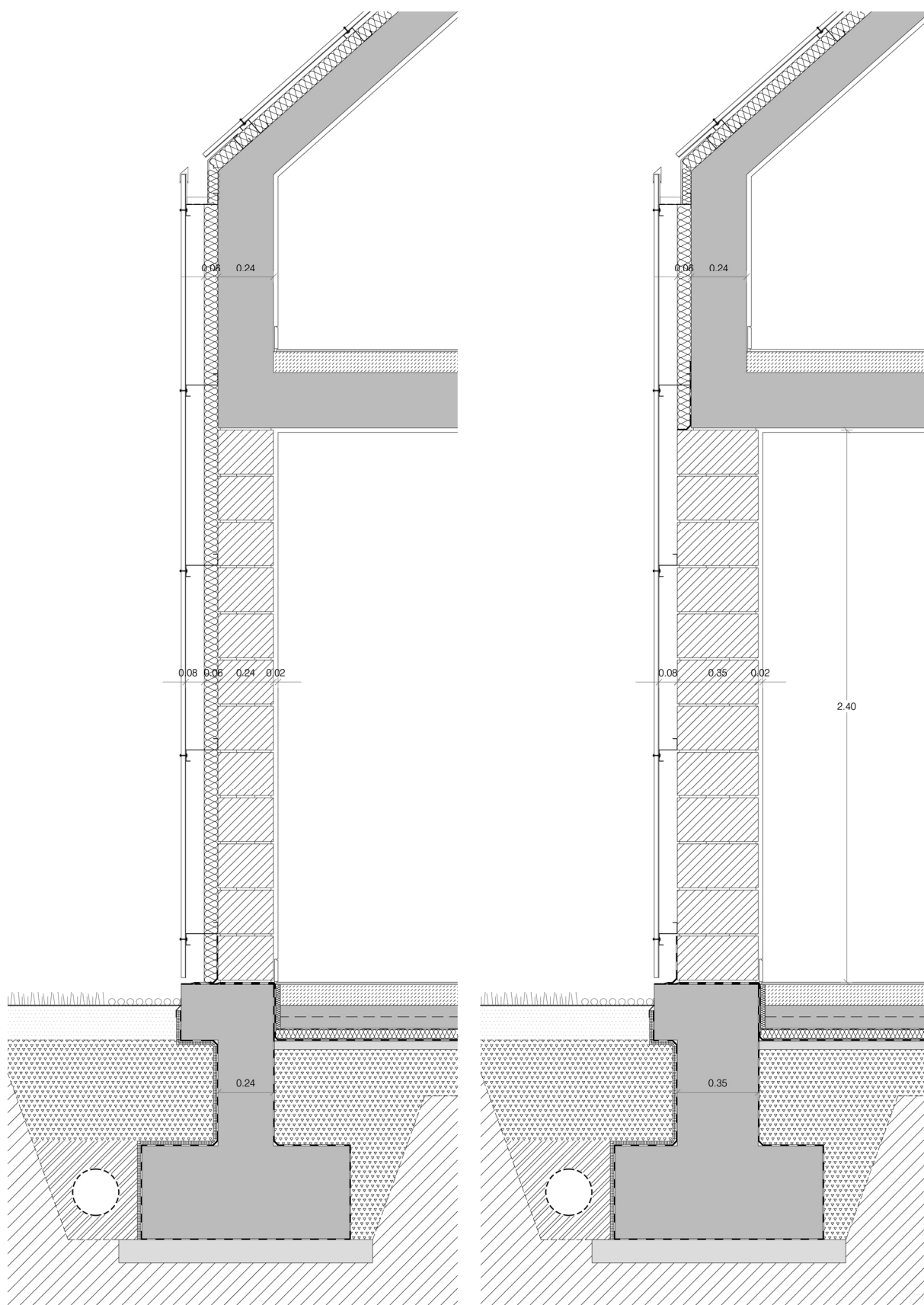


Figura 75: Cortes construtivos das soluções com alvenaria confinada e com painéis prefabricados de alvenaria - Esc.1:25

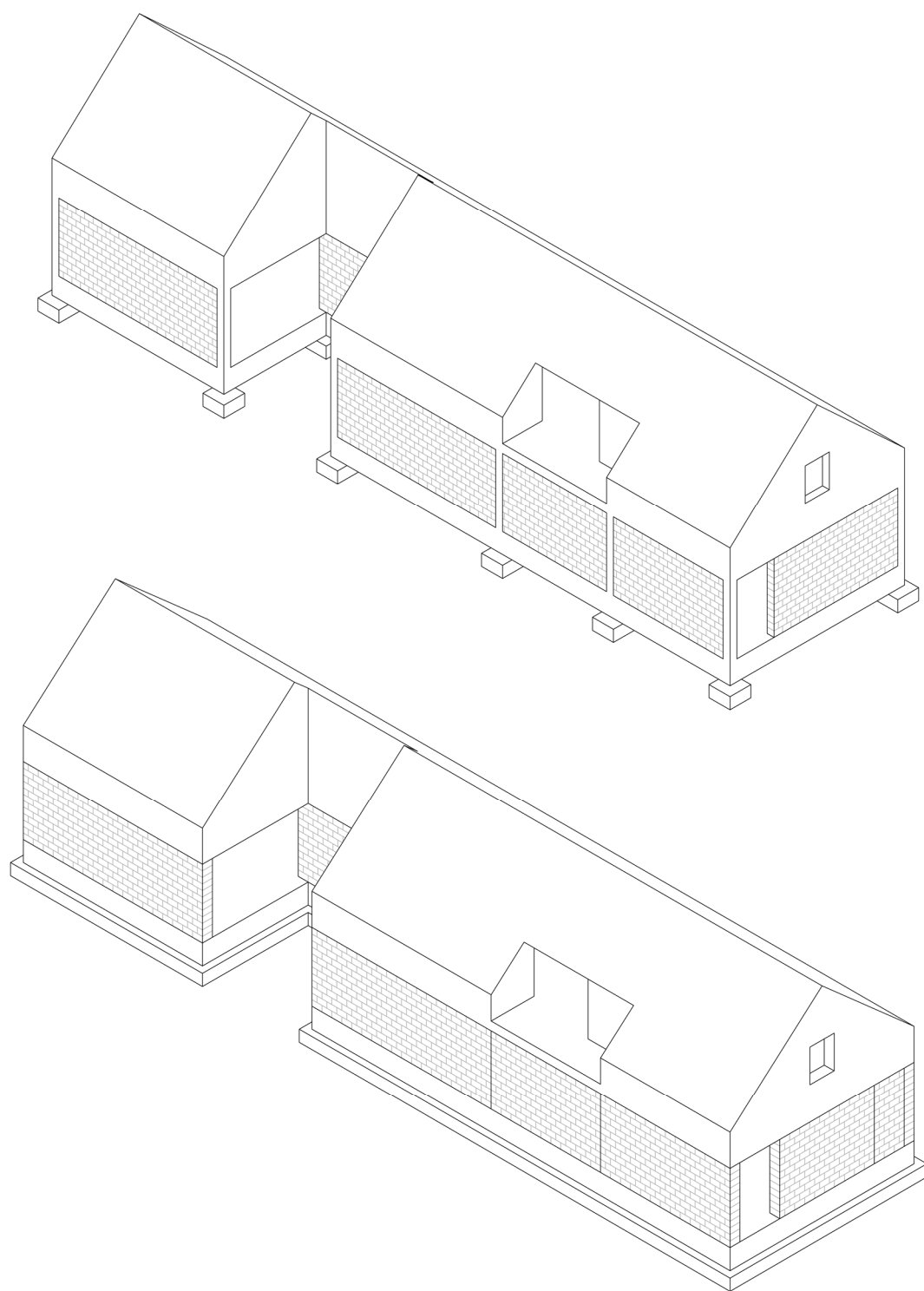


Figura 76: Perspectiva isométrica das soluções em alvenaria confinada e em painéis prefabricados de alvenaria - Esc.1:200

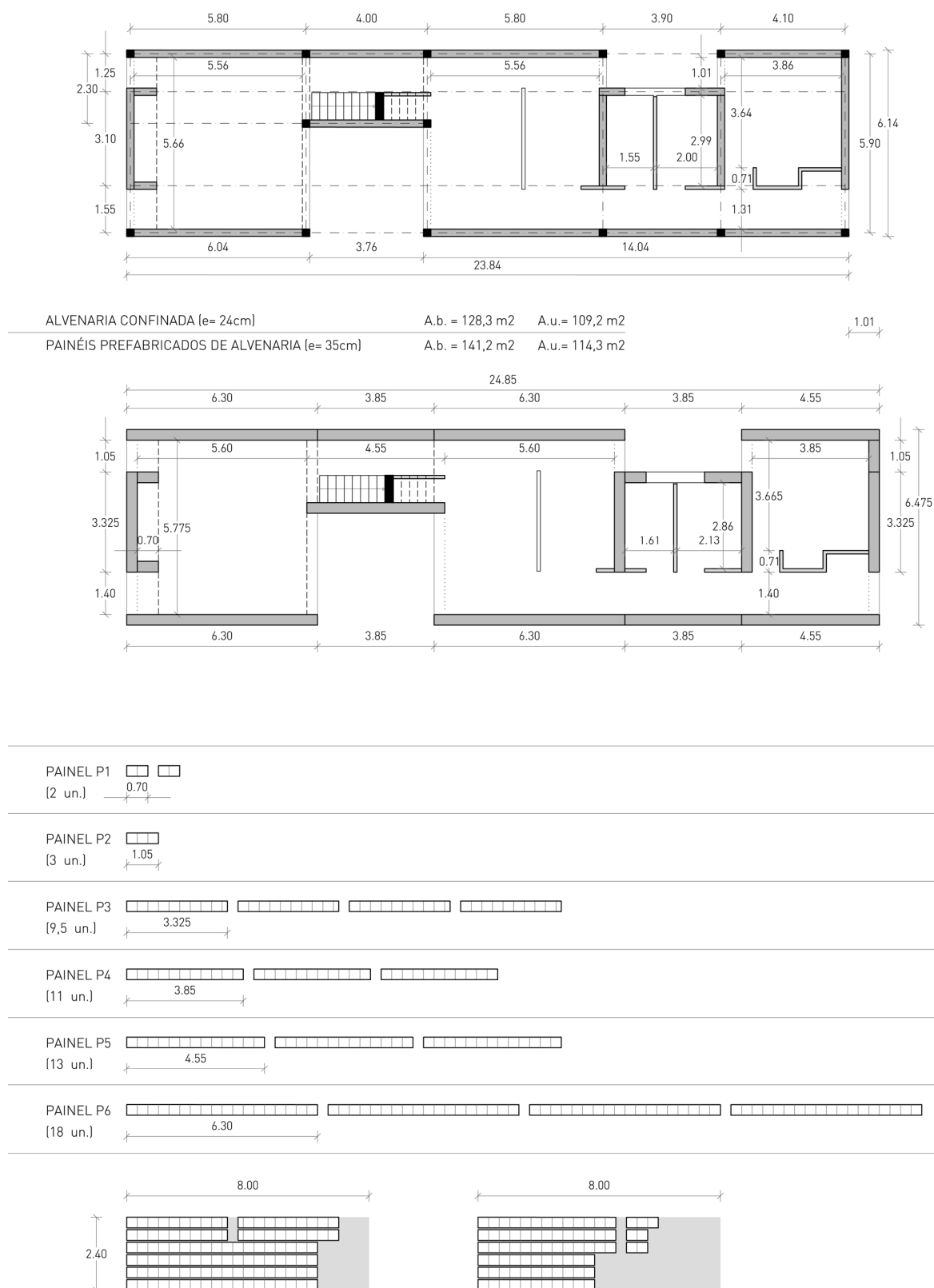


Figura 77: Plantas do Piso 0 com alvenaria confinada e com painéis prefabricados de alvenaria, dimensão e quantidade de painéis prefabricados, montagem dos painéis em duas paletes de 8x2,4m cada - Esc.1:200

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVES, S., SOUSA, H. *Paredes Exteriores de Edifícios em Pano Simples*. Lidel - Edições Técnicas, Lisboa, 2003.
- [2] ANAND, K.B., RAMAMURTHY, K. *Laboratory-Based Productivity Study on Alternative Masonry Systems*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 05-06/2003, pp. 237-242, ASCE - American Society of Civil Engineers, Reston.
- [3] ANAND, K.B., RAMAMURTHY, K. *Techniques for accelerating masonry construction*. *Proceedings of the XXVII IAHS World Congress on Housing* (BORVICE, A., URAL O., ed.) 06/1999, San Francisco, pp. 233-241, IAHS, Coral Gables.
- [4] ARAÚJO, L.O.C., SOUZA, U.E.L. *Fatores que influenciam a produtividade da alvenaria: detecção e quantificação*. Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 25-28/04/2000, 8p, ANTAC, Salvador.
- [5] ARAÚJO, L.O.C., SOUZA, U.E.L. *Produtividade da mão-de-obra na execução de alvenaria: Detecção e quantificação de factores influenciadores*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/269, 24p., EPUSP, São Paulo, 2001.
- [6] BYRNE, G.S. *Racionalização do Processo de Projecto. I - Coordenação Dimensional Modular. Princípios e Aplicações*. LNEC, Lisboa, 1970.
- [7] CARVALHO, A. *Texto de apoio à disciplina de Acústica ambiental e de edifícios*. DEC-FEUP, 04/2006, 5ed.
- [8] *cBLOCO-Elementos*. Relatório de Projecto de Investigação, parceria Cerâmica do Vale da Gândara / CTCV / FEUP, financiamento Programa IDEIA / AdI-Agência da Inovação, 03/2008.
- [9] FARIA, J.A. *Divisórias leves prefabricadas: Concepção e avaliação da viabilidade de um sistema realizado com base em madeira e derivados*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.
- [10] FIGGE, D., JEDAMZIK, H-W., KRECHTING, A. *Prefabricated brick wall elements*. 2005. http://www.ziegelementbau.de/content/presse/dokumentation/doku/Sonderdruck_ZIJahrbuch_2112.pdf, 15/07/2008.
- [11] FREITAS, V., TORRES, M., GUIMARÃES, A. *Humidade Ascensional*. Colecção Documentos Técnicos, FEUP Edições, 2008.
- [12] GOMES, R.J. *Necessidades humanas e exigências funcionais da habitação*. Memória 501. LNEC, Lisboa, 1978.

- [13] GOUVEIA, J., LOURENÇO, P., VASCONCELOS, G. *Soluções construtivas em alvenaria*. Actas do 3º Congresso Nacional da Construção 2007, 17-19/12/2007, 12p., UC, Coimbra.
- [14] HERZOG, T., KRIPPNER, R., LANG, W. *Construire des façades*. Presses Polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2007.
- [15] KRECHTING, A. *Prefabrication in the Brick Industry*. Proceedings of the 13th International Brick and Block Masonry Conference, 4-7/07/2004, Amsterdam, pp. 565-573, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2004.
- [16] LUCAS, J.A.C. *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. Informação Técnica Edifícios ITE 24. LNEC, Lisboa, 2004, 4ed.
- [17] LUCAS, J.A.C. *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*. Informação Técnica Edifícios ITE 25. LNEC, Lisboa, 2005, 4ed.
- [18] MANSO, J.A., FONSECA, M.S., ESPADA, J.C. *Informação sobre Custos. Fichas de Rendimentos*. LNEC, Lisboa, 2004, 4 ed.
- [19] MARKS, N., VI, P. *Biomechanical analysis of various brick sizes*. Submission for the 2nd International Symposium on Ergonomics in Building and Construction, 08/2000, San Diego, IEA - International Ergonomic Association. <http://www.elcosh.org/en/document/199/d000206/a-biomechanical-analysis-of-various-brick-sizes.html>, 15/07/2008.
- [20] MATOS, T.C. *Sistemas construtivos com base em blocos de cerâmica porosa de perfuração vertical*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da UTL, 2008.
- [21] *Matriz Energética de Lisboa*. Lisboa E-Nova - Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa, Lisboa, 2005.
- [22] MENDONÇA, P. *Habitar sob uma segunda pele. Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Dissertação de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, 2005.
- [23] OTMAPS - *Optimização Térmica e Mecânica de Alvenarias em Pano Simples*. Relatório de Projecto de Investigação, parceria Maxit / Instituto da Construção (IC-FEUP), financiamento Programa IDEIA / AdI-Agência da Inovação, 03/2008.
- [24] PFEIFER, G., RAMCKE, R., ACHTZIGER, J., ZILCH, K. *Masonry Construction Manual*. DETAIL/Birkhäuser, Basel, 2001.
- [25] REI, J.C.M. *Edifícios de pequeno porte em alvenaria resistente: Viabilidade técnico-económica*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1999.
- [26] SANTOS, C., MATIAS, L. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Informação Técnica Edifícios ITE 50. LNEC, Lisboa, 2006.
- [27] SANTOS, C., PAIVA, J. *Caracterização Térmica de Paredes de Alvenaria*. Informação Técnica Edifícios ITE 12, LNEC, Lisboa, 1986.

- [28] SANTOS, C., PAIVA, J. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Informação Técnica Edifícios ITE 28, LNEC, Lisboa, 1990.
- [29] SILVA, A.H.; SANTOS, D.G., ROMAN, H.R., HEINECK, L.F. *Custos e produtividade em alvenaria estrutural - Análise comparativa entre 12 prédios com estrutura em blocos cerâmicos, 3 prédios em blocos de concreto e 8 prédios com estrutura convencional de concreto armado*. Anais do X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável (ENTAC'04/ciaCS'04), 18-21/07/2004, São Paulo, v. 1, pp. 7-20, Antac, Porto Alegre, 2004.
- [30] SILVA, J.M., ABRANTES, V. *Patologia em paredes de alvenaria: Causas e soluções*. Livro de Actas do Seminário Paredes de Alvenaria: Inovação e Possibilidades Actuais (LOURENÇO, P.B. et al., ed.), 15/11/2007, Lisboa, pp. 65-84, Universidade do Minho, Guimarães.
- [31] SOUSA, H. *Alvenarias em Portugal: Situação actual e perspectivas futuras*. Actas do Seminário Paredes de Alvenaria: Situação Actual e Novas Tecnologias (LOURENÇO, P.B., SOUSA, H., ed.), 24/10/2002, pp.17-40, UM-FEUP, Porto.
- [32] SOUSA, H., CARVALHO, F. *Typical masonry wall enclosures in Portugal*. In *Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide Typical Masonry Wall Enclosures in Belgium, Brazil, China, France, Germany, Greece, India, Italy, Nordic Countries, Poland, Portugal, the Netherlands and USA* (SANTOS, S.P., ed.), pp. 179-196, Taylor&Francis, Londres, 2006.
- [33] TIRONE, L., NUNES, K. *Construção sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*. Editora Dinalivro, Sintra, 2007.
- [34] TUBI, N. *La realizzazione di murature in laterizio*. Edizioni Lateralservice, Roma, 1993, 3 ed.
- [35] VAZ-SÁ, A.; RANGEL, B., SOUSA, H., ABRANTES, V. *Why Insulate? The Arguments for Sustainability*. Proceedings of the 17th CIB World Building Conference 2007, 14-17/05/2007, Cape Town, pp. 142-154, CIB/SAICE, Midrand.
- [36] VI, P. *Getting a Grip*. Construction Safety Magazine (online), v.11, 4, 2000/2001 <http://www.elcosh.org/en/document/430/d000422/getting-a-grip.html>, 15/07/2009.

NORMAS E REGULAMENTOS

- [37] BS 5628-3:2001 - *Code of practice for use of masonry. Materials and components, design and workmanship*. BSI, B/525/6, Londres, 08/2001.
- [38] BS 6750:1986 - *Specification for modular coordination in building*. BSI, B/212, Londres, 08/1986.
- [39] DIN 1053-4: 2/2004 - *Masonry - Part 4: Prefabricated masonry compound units*, 02/2004.
- [40] DIN 1053-4: 9/1978 - *Masonry; Buildings of Prefabricated Brickwork Components*, 09/1978.

- [41] *Directiva dos Produtos de Construção*. Directiva 89/106/CE, transposta para o direito interno através do Decreto-Lei n.º 113/93, Diário da República n.º 84, Série I-A (10/04/1993).
- [42] Directiva n.º 90/269/CEE, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde na movimentação manual de cargas, transposta para o direito interno através do Decreto-Lei n.º 330/93, Diário da República n.º 226, Série I-A (25/09/1993).
- [43] DTU 20.1 - *Travaux de bâtiment - Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs*. CSTB, 04/1994.
- [44] EN 1015 - *Methods of test for mortar for masonry*. CEN/TC 125, Bruxelas.
- [45] EN 1015-2:1998 - *Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortar and preparation of test mortars*. CEN/TC 125, Bruxelas, 10/1998.
- [46] EN 1996-1-1:2005 - *Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures*. CEN/TC 250, Bruxelas, 11/2005.
- [47] EN 1996-2:2006 - *Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry*. CEN/TC 250, Bruxelas, 01/2006.
- [48] EN 1998-1:2004 - *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. CEN/TC 250, Bruxelas, 12/2004.
- [49] EN 998-1:2003 - *Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar*. CEN/TC 125, Bruxelas, 04/2003.
- [50] EN 998-2:2003 - *Specification for mortar for masonry - Part 2: Masonry mortar*. CEN/TC 125, Bruxelas, 04/2003.
- [51] EN ISO 6946:2007 - *Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method*. CEN/TC 89, Bruxelas, 12/2007.
- [52] ISO 2445:1972 - *Joints in building - Fundamental principles for design*. International Organization for Standardization, Geneva, 1972.
- [53] ISO 3447:1975 - *Joints in building - General check-list of joint functions*. International Organization for Standardization, Geneva, 1975.
- [54] NP 88:1991 - *Modulação das construções. Directivas fundamentais*. IPQ, Lisboa, 1991.
- [55] NP EN 1052-1:2002 - *Métodos de ensaio para alvenaria - Parte 1: Determinação da resistência à compressão*. CEN/TC 125, Tradução do IPQ/CT 121, Lisboa, 2002.
- [56] NP EN 1052-3:2005 - *Métodos de ensaio para alvenaria - Parte 3: Determinação da resistência inicial ao corte*. CEN/TC 125, Tradução do IPQ/CT 121, Lisboa, 2005.
- [57] NP EN 1745:2005 - *Alvenarias e elementos de alvenaria. Métodos para determinação de valores térmicos de cálculo*. IPQ, Lisboa, 2005.
- [58] NP EN 1996-1-1:2006 - *Anexo Nacional - Eurocódigo 6 - Projecto de Estruturas de Alvenaria - Parte 1-1: Regras para Estruturas de Alvenaria Armada e Não Armada*. IPQ/CT115 (LNEC), Lisboa, 07/2006.

- [59] NP EN 1998-1:2005 - *Anexo Nacional - Eurocódigo 8 - Disposições para Projecto de Estruturas Sismo-resistentes - Parte 1: Regras Específicas para Estruturas de Alvenaria*. IPQ/CT115 (LNEC), Lisboa, 07/2006.
- [60] NP ENV 1998-1-2:2000 - *Eurocódigo 8 - Disposições para projecto de estruturas sismo-resistentes - Parte 1-2: Regras gerais - Regras gerais para edifícios*. IPQ/CT115 (LNEC), Lisboa, 06/2000.
- [61] RCCTE - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 40/90, Diário da República n.º 31, Série I (06/02/1990).
- [62] RCCTE - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 80/2006, Diário da República n.º 67, Série I-A (04/04/2006).
- [63] *Regulamento Geral das Edificações Urbanas - Decreto-Lei n.º 38 382, de 7 de Agosto de 1951*. Porto Editora, Porto, 2003.
- [64] RGE - *Regulamento Geral das Edificações*. Documento de apresentação elaborado pela Subcomissão para a Revisão do RGEU - C.S.O.P.T., constituída através da Portaria n.º 62/2003, 03/2004.
- [65] RGR - *Regulamento Geral do Ruído*. Decreto-Lei n.º 9/2007, Diário da República n.º 12, Série I (17/01/2007).
- [66] RRAE - *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 96/2008, Diário da República n.º 110, Série I (09/06/2008).

REFERÊNCIAS DA INTERNET

* sítios da Internet activos à data de 07/2009

- [67] <http://constructioncomplete.com>
- [68] <http://lamaisondebarbieetphilou.blogspot.com>
- [69] <http://meinziegelhaus.de>
- [70] <http://negocios.maiadigital.pt/hst/ergonomia>
- [71] <http://sustainable-cities.eu/Aalborg-Charter-79-2-3-.html>
- [72] <http://wikimedia.org>
- [73] <http://www.betonor.fr>
- [74] <http://www.cdc.gov/niosh>
- [75] <http://www.dfab.arch.ethz.ch>
- [76] <http://www.frankenziegel.de>
- [77] <http://www.gima-ziegel.de>
- [78] <http://www.greatbuildings.com>

- [79] <http://www.imerys-structure.com>
- [80] <http://www.maxit.pt>
- [81] <http://www.monadnockbuilding.com>
- [82] <http://www.monomur.com>
- [83] <http://www.natural-building.co.uk>
- [84] <http://www.nonstopscaffolding.com>
- [85] <http://www.poroton.it>
- [86] <http://www.poroton.org>
- [87] <http://www.rimmele.de>
- [88] <http://www.silverlinetools.com>
- [89] <http://www.southworthproducts.com>
- [90] <http://www.starindustries.com>
- [91] <http://www.termoarcilla.org>
- [92] <http://www.toutfaire.fr>
- [93] <http://www.turber.de>
- [94] <http://www.unipor.com>
- [95] <http://www.wienerberger.com>
- [96] <http://www.zellerporoton.de>
- [97] <http://www.zerocarbonbritain.com>
- [98] <http://www.ziegelementbau.de>
- [99] <http://www.ziegelforum.de>
- [100] <http://www.ziegelwerk-bellenberg.de>

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. James&James Science Publishers for the Commission of the European Communities, Londres, 1999.
- BEALL, C. *Masonry Design and Detailing: for Architects, Engineers and Contractors*. McGraw Hill, New York, 1997, 4ed.
- BERNSTEIN, D., CHAMPETIER, J., VIDAL, T. *Anatomie de l'enveloppe des bâtiments*. Le Moniteur, Paris, 1997.
- EPPELL, F. *Rain penetration of Masonry*. Report #44. Masonry Research Foundation of Canada, 03/1981.

- ERKELENS, P. *Low-cost housing, a continuous struggle (overview, research, future)*. Proceedings of the 17th CIB World Building Conference 2007, 14-17/05/2007, Cape Town, pp. 2045-2054, CIB/SAICE, Midrand.
- *Getting to grips with manual handling: A short guide*. HSE - Health and Safety Executive. 09/2007. http://www.healthandsafetyworksni.gov.uk/getting_2_grips-2.pdf, 20/08/2008.
- HERZOG, T., KRIPPNER, R., LANG, W. *Facade Construction Manual*. DETAIL/Birkhäuser, Basel, 2004.
- KREH, D. *Building With Masonry: Brick, Block, and Concrete*. The Taunton Press, 2002.
- *La Costruzione di Murature in Laterizio: Procedure di Sicurezza Condivise*. Consorzio Alveolater/Libra Srl, Bologna, 09/2007.
- PRITSCHOW, G., DALACKER, M., KURZ, J., ZEIHNER, J. *A Mobile Robot for On-Site Construction of Masonry*. Proceedings of the 1994 IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '94), 12-16/09/1994, Munich, pp. 1701-1707, Federal Armed Forces University Munich.
- SCHITTICH, C. (ed.) *In Detail: Building Simply*. DETAIL/Birkhäuser, München, 2005.
- SCHWARTZ, B (ed.) *Enduits de Façade*. Centre d'Assistance Technique et de Documentation (CATED), Paris, 1995.
- STAIB, G., DÖRRHÖFER, A., ROSENTHAL, M. *Components and Systems. Modular Construction: design, structure, new technologies*. DETAIL/Birkhäuser, Basel, 2008.