



U N I V E R S I D A D E
LUSÓFONA

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PORTO
FCAATI
MESTRADO INTEGRADO EM ARQUITETURA**

**A QUALIDADE DO AR E O
CONFORTO TÉRMICO NA
REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada em provas públicas para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura sob a orientação da Professora Doutora Isabel Clara Neves da Rocha Marques e sob coorientação do Professor Arquiteto João Carlos Martins Lopes dos Santos

José Alexandre Carneiro Felipe Santos Filho

2023

*De vez em quando Deus me tira a poesia. Olho
pedra, vejo pedra mesmo. (Adélia Prado)*



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

José Alexandre Carneiro Felipe Santos Filho

A QUALIDADE DO AR E O CONFORTO TÉRMICO NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura – **VERSÃO FINAL**

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona do Porto no dia 27 de novembro de 2023, perante o júri, nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º. 439/2023, de 07 de novembro de 2023 com a seguinte composição:

Presidente: Professor Doutor Arquiteto Pedro Cândido Almeida D'Eça Ramalho (Prof. Catedrático da Universidade Lusófona do Porto)

Arguente: Professor Doutor António Sérgio Koch de Araújo e Silva (Prof. da Universidade Lusófona do Porto)

Orientadora: Professora Doutora Isabel Clara Neves da Rocha Marques (Prof^a. da Universidade Lusófona do Porto)

Coorientador: Professor Arquiteto João Carlos Martins Lopes dos Santos (Prof. da Universidade Lusófona do Porto)

2023

É autorizada a reprodução integral desta dissertação de mestrado integrado apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se comprometa.

Agradecimentos

Começo por agradecer a Deus pelos caminhos que me fez trilhar até aqui, os desafios, as vitórias e as derrotas, as alegrias e lamentos que diariamente formam minha alma, encaminhando-me a ser uma pessoa melhor para todos aqueles à minha volta.

Agradeço à Virgem Maria por sua maravilhosa intercessão, que, por mais de uma vez, já me salvou a vida (literalmente).

Quero agradecer a minha mulher, Gabriela, que tem sido minha fortaleza há mais de 20 anos ao apoiar meus projetos e desafios, por acreditar em mim e ser meu suporte, por sempre a colocar-me de pé quando as pernas já se cansaram de caminhar, e por ajudar-me a ajoelhar todos os dias para dar graças a Nosso Senhor pelas maravilhas que Ele faz em nossas vidas. Tu és a razão de todo meu trajeto. Tu fazes de mim um homem melhor todos os dias. Amo-te mais que a mim próprio.

Meus filhos queridos: Manu, Cici, João e Pipo. Obrigado por acreditarem no papá. Sabeis que tudo que faço é para que vós sejais melhores que eu, por isso estou sempre em busca da verdade para ensinar-vos o caminho certo a trilhar. Amo-vos de todo o coração.

Agradeço a meus filhos José Maria e Francisco que, junto à Virgem Santa, olham por mim e pelos meus desde o Céu, e me ajudam a fortalecer a vontade de ser melhor para nosso reencontro na Casa do Pai. Sempre vos amarei!

A meus pais (biológicos e de coração) por me ajudarem a percorrer as estradas da minha vida, pavimentando bem o campo enquanto eu era criança de modo que, quando chegou a hora soube que era minha vez de começar a colocar eu mesmo os pavimentos desta estrada que me tem conduzido até aqui.

Aos meus grandes amigos Trica, Livia, Cristiano, Andrea, Marco e Camila, Brunão e Mi. Sem a vossa amizade a vida teria menos piada. Agradeço diariamente a Deus por vos ter colocado em nossos caminhos.

Agradeço também a meu co-orientador, professor João Santos por me ter conduzido de maneira serena, e certa no rumo deste trabalho e pelos muitos ensinamentos que me passou neste último ano. Estou certo de que hoje sou mais que ontem.

Agradeço ainda ao professor João Gomes por tudo que me ensinou e pela amizade, além de, sem saber ou dar-se conta, me ter despertado a paixão pelo estudo da estética, e ao professor Rui Furtado pelas conversas, ensinamentos e pela forma leve como conduziu-nos a refletir sobre uma maneira de projetar para além da arquitetura.

Aos demais professores que fizeram parte deste trajeto de cinco anos, Graça Moura, Rui Castro, Edite Rosa, José Gigante, João Pedro Serôdio, Luísa Souto de Moura, Rita Lima, Nuno Moura, José Paulo dos Santos, Clara Neves, Vítor Oliveira, Pedro Maia, Sofia Santos, António Deus, Lígia Silva, Luís Espinheira e Marta Silva o meu muito obrigado por me

ajudarem a enxergar melhor a arquitetura como aquilo que Platão chamava de “*a única arte útil*”.

Por fim agradeço aos meus colegas de turma que tornaram o dia-a-dia no *campus* da faculdade mais leve e as discussões sobre arquitetura mais empolgantes.

A todos, o meu muito obrigado.

Resumo

A adaptação de um edifício antigo às necessidades atuais nunca é tarefa simples a um arquiteto. A introdução de infraestruturas para atender à necessidade de renovação de ar e de garantia de conforto térmico em construções concebidas sem estas funções são um grande desafio, uma vez que as condutas necessárias para passagem de ar renovado e condicionado tem grandes dimensões, e estes imóveis não possuem previsão de local para sua instalação, o que leva a acender o problema de como fazê-lo de modo a minimizar seu impacto na pré-existência.

Assim, o presente trabalho terá como fim o estudo sobre a introdução de elementos capazes de garantir a boa qualidade do ar interior e o conforto térmico na restauração de edificações antigas, mais precisamente no caso prático do projeto proposto para a cadeira de Projeto 5, do quinto ano do curso de mestrado integrado em arquitetura da Universidade Lusófona do Porto, cujo objeto é a reabilitação do principal *campus* universitário desta mesma instituição e seu anexo.

Palavras-Chave:

Qualidade do ar, AVAC, restauro, renovação, edifício antigo, arquitetura, conforto térmico, ar-condicionado, UTA.

Abstrarc

The adaptation of an old building to today's needs is never an easy task for an architect. The introduction of infrastructures to attend the necessity to air renovation and to guarantee thermal comfort in constructions that were not conceived with this functions are a great challenge, since the ducts that are necessary for the passage of air threated and conditioned are of great dimensions, and these buildings do not have a previous plan for the passage and installation of such, which brings the problem of how to do it in ways to minimize it's impact in the preexistence.

Therefore, the present work is developed as an study of the introduction of elements capable to grant good air quality an thermal comfort in the restauration of old buildings, more precisely in the practical case of the matter of Project 5, of the fifth year of integrated master's degree in architecture of the Universidade Lusófona do Porto, which object is the rehabilitation of the main *campus* of this same university and it's appendix.

Keywords:

Air quality, HVAC, restauration, renovation, old buildings, architecture, thermal comfort, air conditioning, ATU.

Lista de Abreviaturas e Siglas

APA - American Psychological Association

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

CLT – *Cross Laminated Timber* (madeira lamelada colada)

CO₂ – Dióxido de Carbono

CPP – Coletores de Placas Planas

ETICS – *External Thermal Insulation Composite System* (Sistema Composto de Isolamento Externo)

HEPA - *High-Efficiency Particulate Air Filter* (Filtro de Partículas de Ar Altamente Eficiente)

HVAC – *Heat, ventilation and air-conditioning* (AVAC – aquecimento, ventilação e ar-condicionado)

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IPA – Informação para o Património Arquitectónico

LNEC – Laboratório Nacional de Meteorologia e Geofísica

QAI – Qualidade do Ar Interior

RSP – *Respirable Suspended Particles* (Partículas Respiráveis em Suspensão)

TRM – Temperatura de Radiação Média

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UV - Ultravioleta

VAC – Volume de Ar Constante

VAV – Volume de Ar Variável

Índice Geral

Agradecimentos	4
Resumo	6
Abstrarc	7
Lista de Abreviaturas e Siglas	8
Índice Geral	9
Índice de Imagens	11
PARTE I CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
Contextualização e Justificação do Tema	17
Objetivo	18
Considerações Metodológicas	19
Estrutura de Conteúdos	20
PARTE II O CONFORTO TÉRMICO E A QUALIDADE DO AR	21
Capítulo I – O Conforto Térmico e a Qualidade do Ar	22
I. 1 – O Conforto Térmico.....	22
I.2 – A Qualidade do Ar, Humidade, Condensação e Pontes Térmicas	26
I.3 – A Qualidade do Ar nos Edifícios	29
I.4 – Renovação do Ar por Convecção.....	31
I.5 – Renovação Mecânica do Ar	33
Capítulo II – Métodos de Manipulação e Controlo da Temperatura e da Qualidade do Ar Interior	35
II. 1 – Controlo Térmico a Partir da Radiação	35
II.1.1 – Controlo da Radiação Natural	35
II.1.2 – Meios Artificiais de Controlo de Radiação.....	40
II.2 – O Controle de Temperatura por Água e Vapor.....	45
II.3 – Sistemas de Controle de Temperatura a Ar (Sistemas de Condicionamento de Ar). 46	
II.3.1 – Sistemas de Ciclo de Compressão.....	47
II.3.1.1 – Sistemas de AVAC.....	50
II.3.2 – Sistemas de Ciclo de Absorção	55
II.3.3 – Elementos Comuns aos Ciclos de Compressão e Absorção	55
PARTE III EDIFÍCIOS ANTIGOS, O CONFORTO TÉRMICO E A QUALIDADE DO AR	57
Capítulo III – O Comportamento Térmico e a Qualidade do Ar em Edifícios Antigos ...	58
Capítulo IV – A Reabilitação de Edifícios Antigos e a Melhoria da Qualidade do Ar e do Conforto Térmico	60

PARTE IV CASOS DE ESTUDO E O CASO PRÁTICO	82
Capítulo V – Casos de Estudo	83
V.1 – Escola Básica e Secundária de Rodrigues de Freitas – Conservatório de Música do Porto.....	83
V.2 – Escola Secundária de Carolina Michaëlis	86
V.3 – Escola Secundária de Gabriel Pereira.....	89
Capítulo VI – O Caso Prático: Projeto de Reabilitação do Edifício da Universidade Lusófona do Porto.....	93
Capítulo VII – Conclusão.....	111
Referências Bibliográficas	113

Índice de Imagens

Figura 1 – Modelo de edifício e sua função protetora do tempo. Centro de investigação universitária Maersk Tower, Copenhaga, Dinamarca - C.F. Moller Architects. Fonte: (Centro universitario en Copenhague (Dinamarca) - Movable Facade with Copper.Covered Shutters, 2018, p. 69).	23
Figura 2 – Índice de energia metabólica dissipada em função de atividades diferentes. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 122).	24
Figura 3 – Quadro de produção de CO2 na atividade metabólica. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 43).	30
Figura 4 – Quadro de concentrações máximas admissíveis de poluentes no interior de edifícios em Portugal (RSECE) [28]. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 43).	30
Figura 5 – Modelo de renovação de ar por convecção- Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 152).	32
Figura 6 – Modelo de sistema de túnel de ar - Escola em Damasco. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 155).	32
Figura 7 – Exemplo uso de radiação para controlo térmico de edifícios. Casa Rauch, Schlins, Austria - Roger Boltshauser. Fonte:. (Casa Rauch, 2021, p. 40).	36
Figura 8 – Exemplo de circulação de ar proporcionado por uma correta escolha de materiais e de abertura de vãos. Centro de Investigación ICTA-ICP. UAB, Barcelona, Espanha - Harquitectes. Fonte: (Centro de Investigación ICTA-ICP. UAB, 2020, p. 99).	37
Figura 9 – Modelos de aproveitamento e bloqueio de radiação solar. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 135).	38
Figura 10 – Exemplo de circulação de ar proporcionado pela abertura de vãos. Casa em Rua Ullastret, Girona, Espanha - Harquitectes. Fonte: (Casa en Ullastret, 2020, p. 199).	38
Figura 11 – Modelo de aproveitamento de radiação solar - Edifício Sede da Packard Foundation. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 7).	39
Figura 12 – Exemplo de climatização por meio de paredes radiantes. Estudo de caso Casa de Aço, Raperswill-Jona, Suíça - Roger Boltshauser. Fonte:. (Estudio de caso Casa de Acero, 2021, p. 182).	41
Figura 13 – Exemplo de climatização por meio de tetos radiantes. Edifício de investigação GLC, ETH, Zurique, Suíça - Roger Boltshauser. Fonte:. (Edifício de investigação GLC, ETH, 2021, p. 308).	42
Figura 14 – Modelo de piso radiante. Fonte: (Tectónica, 2023).	43
Figura 15 – Exemplo de coletor solar térmico; modo de funcionamento do coletor e corte técnico de coletor solar térmico. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 408-409).	44

Figura 16 – Funcionamento do sistema completo de coletores solares térmicos com armazenamento de calor. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 426).	45
Figura 17 – Modelo de aquecimento hidrónico. Fonte: (Dicas & Esquemas, 2023).	46
Figura 18 – Modelo esquemático dos ciclos de compressão. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 113).	48
Figura 19 – Modelo de sistema de difusão por deslocamento. Da esquerda para a direita: 1) túnel de deslocamento de ar com tubos de abastecimento nas laterais; 2) grelha de saída de ar na parte superior do túnel e com saída pelo piso acima; 3) grelhas de saída de ar no piso d auditório; 4) grelhas de saída semiocultas no piso sob os assentos. Auditório da Escola Secundária Quinta das Flores – Conservatório de Música de Coimbra, Arquitecto José Paulo dos Santos. Fotos do autor.	49
Figura 20 – Modelo de sistema de unidades de ventilação individuais tipo split. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 122).	51
Figura 21 – Sistema de Rooftop e condutas. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 131).	52
Figura 22 – Modelos de sistemas de Chiller água-ar. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 133).	53
Figura 23 – Modelo de caldeira com duas ou três saídas e esquema de princípio de funcionamento de caldeira de condensação com duas e três ligações. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 151).	54
Figura 24 – Modelo de UTA. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 156).	55
Figura 25 – Comportamento térmico das paredes dos edifícios expostos à radiação solar. Fonte: (Allen, 2016, p. 63).	59
Figura 26 - Modelo de restauro de caixilharia. Fonte: (Giebeler, et al., 2009, pp. 124-125)..	61
Figura 27 – Modelo de restauro de caixilharia com introdução de nova caixilharia pelo interior. Fonte: (Freitas, 2012, p. 266).	61
Figura 28 – Modelo de restauro de cobertura sem desvão. Fonte: (Freitas, 2012, p. 261)...	62
Figura 29 – Modelo de restauro de cobertura com desvão útil. Fonte: (Freitas, 2012, p. 260).	63
Figura 30 – Modelo de cobertura inclinada com desvão habitável. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 392).	63
Figura 31 – Modelo de cobertura inclinada sem desvão habitável. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 392).	64
Figura 32 – Modelo de cobertura inclinada com desvão não habitável. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 392).	64

Figura 33 – Modelo de cobertura de terraço. Fonte: (Freitas, 2012, p. 262).....	65
Figura 34 – Modelo de cobertura de terraço. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 384).	65
Figura 35 – Modelo de restauro de parede com isolamento pelo interior. Fonte: (Freitas, 2012, p. 263).	66
Figura 36 – Modelo de restauro de parede com fachada ventilada. Fonte: (Freitas, 2012, p. 263).	67
Figura 37 – Tabela de solução de isolamento térmico de paredes. Fonte: (Appleton, Reabilitação de edifícios antigos - patologias e tecnologias de intervenção, 2003, p. 217)..	68
Figura 38 – Modelo de sistema de climatização aparente. Residential Development, Zurique, Suíça –Arquitetos Urs Primas e Proplanig. Fonte: (Giebeler, et al., 2009, p. 261).....	71
Figura 39 – Exemplo de sistema de AVAC oculto por teto falso com aberturas aparentes. Pavilhão Escolar Allenmoos II, Zurique, Suíça - Roger Boltshauser. Fonte: (Pabellón Escolar Allenmoos II, 2021, p. 80).	72
Figura 40 – Modelo de introdução de sistema de AVAC oculto em equipamento eletrónico (iluminação) – Resseguradora em Munique, Baumschlager & Eberle arquitetos. Fonte: (Schittich C. (., 2006, p. 141).	73
Figura 41 – Modelo de introdução de sistema de AVAC oculto no teto com aberturas para passagem de ar - Museo Nacional de Escultura de Valladolid. Fonte: (Fuensana Nieto Y Enrique Sobejano - Ampliación del Museo Nacional de Escultura de Valladolid, 2008, p. 30).	74
Figura 42 – Exemplo de teto parcialmente rebaixado para ocultação de condutas. Pabellón de ladrillo en dos tiempos - Estúdio Gonzales Arquitectos. Fonte: (Chicano A. M., 2022, p. 24)	75
Figura 43 – Exemplo de teto parcialmente rebaixado para ocultação de condutas – corte construtivo. Pabellón de ladrillo en dos tiempos - Estúdio Gonzales Arquitectos. Fonte: (Chicano A. M., 2022, p. 25).	76
Figura 44 – Sistema de ocultação de sistemas de AVAC em equipamento de mobiliário - Montebelo Mosteiro de Alcobaça - Fotos do autor.	76
Figura 45 – Modelo de introdução de sistema de AVAC oculto por mobiliário. Chemnitz Museum, Chemnitz - Staab Architekten. Fonte: (Giebeler, et al., 2009, p. 232).....	77
Figura 46 – Sistema de ocultação de sistemas de AVAC em mobiliário - Montebelo Mosteiro de Alcobaça - Foto do autor.	78
Figura 47 – Sistema de ocultação de sistemas de AVAC nas paredes - Montebelo Mosteiro de Alcobaça - Foto do autor.....	78
Figura 48 – Modelo de introdução de sistema de AVAC pelo piso – AachenMünchener head office in Aachen, Kadawittfeldarchitektur. Fonte: (Schittich C. (., 2011, p. 71).	79

Figura 49 – Corte de modelo de introdução de sistema de AVAC pelo piso - Museu de Arte Nanjing Sifan, Steven Holl Architects. Fonte: (Museo de Arte Nanjing Sifang, 2014, p. 248).	80
Figura 50 – Exemplo de condutas de ar aparentes no interior. Kultur bahnhof Aalen - a+r Architekten. Fonte: (Vidal, 2022, p. 16).	81
Figura 51 – Exemplo de condutas de ar aparentes no interior. Kultur bahnhof Aalen - a+r Architekten. Fonte: (Architektur Fachmagazin, 2023).	81
Figura 52 – Pormenor construtivo do sistema de AVAC implantado no edifício. Fonte: (Sá, 2023).	84
Figura 53 – Foto da fachada com as condutas de ar à mostra nas janelas. Fonte: (Heitor, 2011, p. 32).	84
Figura 54 – Imagem do corredor com a esteira técnica para passagem das infraestruturas e estruturas de AVAC. Fonte: (Sá, 2023).	85
Figura 55 – Detalhe de fotografia da fachada da Escola com as condutas de extração de ar à mostra nas janelas. Fonte: (Heitor, 2011).	86
Figura 56 – Corte com as infraestruturas de AVAC da Escola Secundária de Carolina Michäelis. Fonte: (Pimenta, 2009, p. 58).	87
Figura 57 – Imagem do interior da biblioteca da Escola Secundária de Carolina Michäelis com as grelhas de AVAC embutidas no teto rebaixado. Fonte: (EFS - Engenharia Fiscalização e Serviço, 2023).	87
Figura 58 – Imagem do interior do auditório da Escola Secundária de Carolina Michäelis com as grelhas de AVAC embutidas no teto rebaixado. Fonte: (EFS - Engenharia Fiscalização e Serviço, 2023).	88
Figura 59 – Corte com as infraestruturas da Escola Secundária de Carolina Michäelis. Fonte: (Pimenta, 2009, p. 59).	88
Figura 60 – Imagem da fachada do Liceu Carolina Michaëlis. Fonte: (EFS - Engenharia Fiscalização e Serviço, 2023).	89
Figura 61 – Estudos Térmicos para Inverno e Verão do sistema de Funcionamento de tratamento de ar. Fonte: (Pimenta, 2009, p. 152).	90
Figura 62 – Detalhe do sistema de coleta de ar no exterior da escola. Fonte: (Skyscraper City, 2023).	91
Figura 63 – Fotografia comparativa da fachada do anterior e posterior à intervenção. Fonte: (Parque Escolar, 2023).	92
<i>Figura 64 – Fotografia tirada por Teófilo Rego e datada de 1958 - fonte: (Arquivo Municipal do Porto, 2023).</i>	<i>94</i>

Figura 65 – Fotografia da fachada Norte a partir da Rua de Augusto Rosa. Fonte: fotografia do autor.....	95
Figura 66 – Fotografia da fachada Norte a partir da Rua de São Luís. Fonte: fotografia do autor.	95
Figura 67 – Alçado Norte com proposta de demolições.	96
Figura 68 – Proposta para Alçado Norte.	96
Figura 69 – Corte com proposta de demolições e construções.	96
Figura 70 – Corte com proposta final.	97
Figura 71 – Pormenor da proposta de intervenção do telhado.	97
Figura 72 – Esquema de distribuição do sistema de AVAC pela cobertura.....	98
Figura 73 – Esquema de plantas de AVAC.....	99
Figura 74 – Imagem 3D do esquema de distribuição de AVAC.	99
Figura 75 – Imagem 3D do esquema de distribuição de AVAC.	100
Figura 76 – Esquema de distribuição de AVAC – Cortes.....	101
Figura 77 – Corte com esquema de insuflação e recolha de ar.....	102
Figura 78 – Corte com esquema de insuflação e recolha de ar.....	102
Figura 79 – Pormenor construtivo de sistema de AVAC do 2º piso.....	103
Figura 80 – Pormenor construtivo do sistema de fornecimento de ar do AVAC do piso 0...	104
Figura 81 – Pormenor construtivo do sistema de retorno do AVAC do piso 0.	105
Figura 82 – Pormenor construtivo do sistema de AVAC da Capela.	106
Figura 83 – Detalhes e planta de proposta de intervenção nas janelas.	107
Figura 84 – Corte pela área dos auditórios.	108
Figura 85 – Corte pelos auditórios com esquema de fornecimento e recolha de ar.	109
Figura 86 – Plantas do programa referente à proposta de intervenção.	110
Figura 87 – Planta de Implantação.	110

PARTE I
CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Contextualização e Justificação do Tema

O presente trabalho está desenvolvido como dissertação de mestrado integrado em arquitetura junto à Universidade Lusófona do Porto, e busca atender ao dilema da necessidade de introdução de mecanismos para renovação e condicionamento de ar em edifícios antigos, mais especificamente para o caso prático proposto na cadeira de Projeto 5, que conta com um projeto de restauro do *campus* principal desta mesma universidade, bem como seu anexo.

Objetivo

A dimensão das condutas de ar necessárias para promover a renovação e condicionamento de ar, bem como o maquinário capaz de fazê-lo possuem grande impacto nas construções, e quando este não está bem pensado, acaba por arruinar o projeto por completo. Num edifício antigo, onde sequer há previsão para este sistema, o desafio é ainda maior, o que leva à necessidade de estudo do tema, as alternativas possíveis e o melhor meio de fazê-lo de modo a causar o menor impacto possível na preexistência.

Portanto, o presente trabalho busca responder esta questão tendo em consideração o caso prático proposto para a cadeira de Projeto 5, o qual tem como objeto a remodelação do principal *campus* da Universidade Lusófona do Porto, situado à Rua de Augusto Rosa 24, e seu anexo à Rua de São Luís, tudo com vias de conclusão do curso e obtenção do título de mestre em arquitetura junto à mesma instituição de ensino.

Considerações Metodológicas

Para o desenvolvimento do deste trabalho, em primeiro lugar procurar-se-á compreender em que consistem o *conforto térmico* e a *qualidade do ar* e os meios para alcançá-los

Ultrapassado estes primeiros passos, buscar-se-á estudar os diversos mecanismos capazes de manipular a temperatura e a qualidade do ar no interior dos edifícios.

Uma vez fixados estes conceitos e conhecendo os diversos sistemas existentes para a garantia de um ambiente agradável e salubre, passar-se-á para o estudo de casos.

Como o caso prático de projeto em desenvolvimento conta com a renovação de um *campus* universitário, tomar-se-ão como exemplos de estudo três diferentes instituições de ensino que sofreram remodelações recentes e tomaram soluções diferentes para a obtenção destes objetivos.

Por fim, em virtude dos conhecimentos obtidos pelos estudos realizados, passar-se-á para uma estratégia de intervenção no *campus* principal da Universidade Lusófona do Porto e seu anexo, seguindo-se à conclusão.

Assim, para fins de atingir o objetivo buscado o recurso a livros teóricos, técnicos e revistas de arquitetura serão o principal objeto de consulta.

A busca por imagens que melhor representem os exemplos e casos analisados dar-se-á preferivelmente também por meio impresso, recorrendo-se à internet apenas quando as imagens encontradas em periódicos ou publicações forem de baixa ou má qualidade.

Além destes, a elaboração de desenhos ou imagens próprias pelo autor também serão utilizados para melhor ilustrar aquilo que o presente estudo propõe com relação ao caso prático.

A bibliografia respeitará a regra da American Psychological Association (APA).

Estrutura de Conteúdos

Com fins de alcançar o objetivo pretendido, iniciar-se-á a Parte II do presente, com o Capítulo I, o qual terá como objeto o conforto térmico (I.1) e a qualidade do ar, a humidade, a condensação e as pontes térmicas (I.2) como garantia de salubridade. Uma vez estabelecidos estes pontos iniciais, passar-se-á para o estudo da qualidade do ar nos edifícios (I.3), seguido pela renovação do ar por convecção (I.4) e finalizado pela renovação mecânica do ar (I.5).

O Capítulo II explorará os métodos de manipulação e controlo da temperatura e da qualidade do ar interior onde, no subcapítulo II.1 explorar-se-á o controlo térmico a partir da radiação, divididos em duas outras subsecções, uma primeira dedicada à radiação natural (II.1.1) e a seguinte aos meios artificiais de controlo de radiação (II.1.2).

O subcapítulo II.2 explorará o controlo da temperatura por mecanismos de água e vapor, seguido pelo estudo a respeito dos sistemas de condicionamento de ar (II.3), o qual, por seus métodos de funcionamento serão subdivididos de acordo com seus métodos de funcionamento: sistemas de ciclo de compressão (II.3.1), dedicando-se uma subsecção para os sistemas de AVAC; sistemas de ciclo de absorção (II.3.2); e mistos (II.3.3).

A Parte III contará com dois capítulos: um primeiro dedicado ao comportamento térmico e a qualidade do ar em edifícios antigos (Capítulo III), e o segundo à reabilitação destes e a melhoria da qualidade do ar e do conforto térmico nestes edificadados (Capítulo IV).

A Parte IV, por sua vez, de caráter mais objetivo, buscará no Capítulo V três casos de estudo (V1. A Escola Básica e Secundária de Rodrigues de Freitas – Conservatório de Música do Porto; V.2 a Escola Secundária de Carolina Michaëlis; e V.3, a Escola Secundária de Gabriel Pereira) e no Capítulo VI o caso prático do projeto de reabilitação do campus da Universidade Lusófona do Porto, seguido pela conclusão no Capítulo VII.

Por fim a bibliografia, feita de acordo com a regra da APA, e as referências encerram o presente estudo.

PARTE II
O CONFORTO TÉRMICO E A QUALIDADE DO AR

Capítulo I – O Conforto Térmico e a Qualidade do Ar

I. 1 – O Conforto Térmico

Sem sol não haveria vida na Terra, pois é por causa dele e de seus raios que superfície terrestre consegue aquecer-se de modo a permitir, por exemplo, que as águas evaporem e deem início ao ciclo de condensação que permite as chuvas.

O sol alimenta as plantas, flores e árvores, que, por sua vez, pelo processo de fotossíntese, retribuem ao meio ambiente oxigênio, frutos, proteínas, fibras que nutrem aos homens e animais.

Através da radiação direta e da irradiação do solo e das superfícies, ou por aquecimento do ar ao seu redor, o astro rei acalenta o corpo do homem, por vezes a dar-nos conforto, outras de modo a causar incómodos quando a exposição direta a ele ou ao calor resultante de sua incidência é demasiado.

O sol ilumina o ambiente direta ou indiretamente (por reflexão), mas também pode ocasionar a deterioração de materiais; queima a pele do homem excessivamente a ele exposto e pode, inclusive, gerar doenças graves.

Neste ponto as edificações, desde sempre, buscaram proteger o homem, não apenas de outros animais ou insetos, mas também da incidência direta dos raios solares e das intempéries que, para além daquelas já mencionadas, acabam por ser resultado de sua ação, como chuvas, ventos e tempestades.

Ademais, os edifícios, por serem capazes de criar um microclima em seu interior, protegem-nos da falta que pode fazer o sol como, por exemplo, em uma noite fria de inverno.

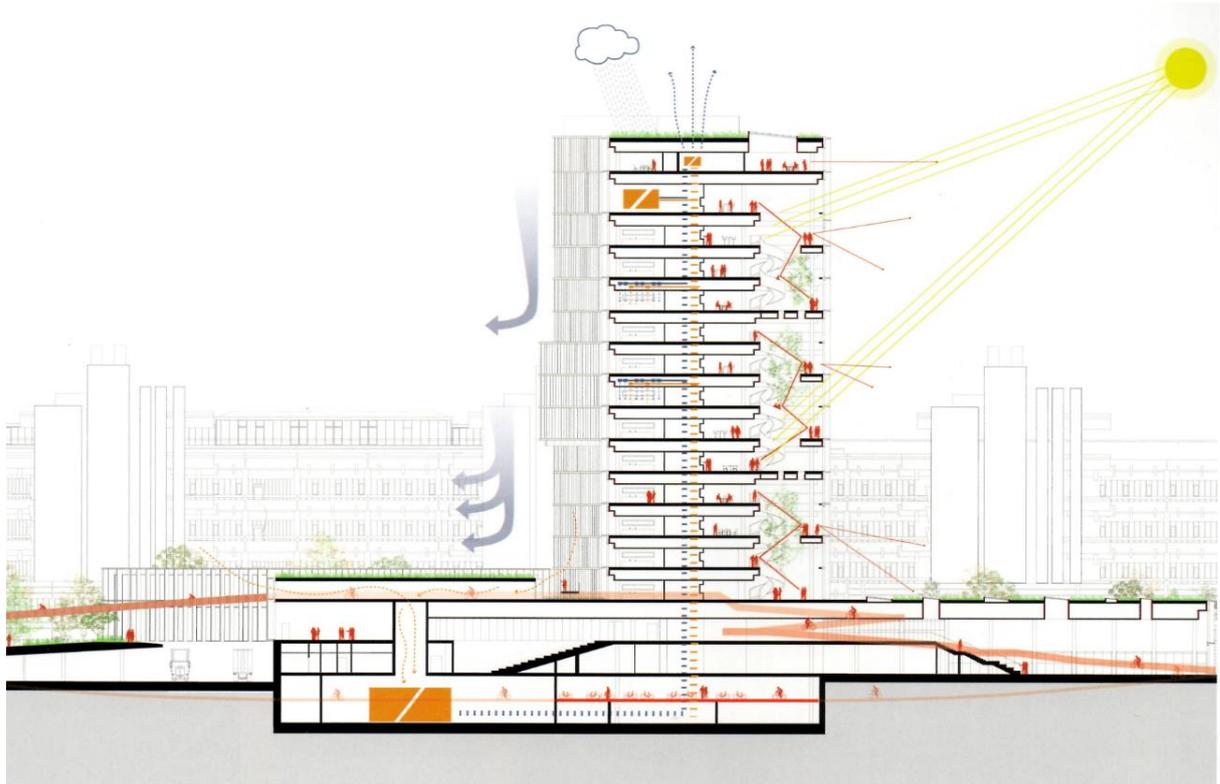


Figura 1 – Modelo de edifício e sua função protetora do tempo. Centro de investigação universitária Maersk Tower, Copenhaga, Dinamarca - C.F. Moller Architects. Fonte: (Centro universitario en Copenhague (Dinamarca) - Movable Facade with Copper.Covered Shutters, 2018, p. 69).

Não nos podemos esquecer, contudo, que o ser-humano, em sua essência, é igualmente um fator térmico que merece atenção, pois, por meio da irradiação do calor que nossos corpos produzem e liberam calor e humidade ao ambiente em nossa volta¹, de modo que um ser humano a realizar uma tarefa cotidiana pouco exigente gera energia equivalente a uma lâmpada de 100 watts acesa. Quando está a caminhar é capaz de produzir o dobro ou triplo desta quantidade e, em exercícios intensos, de seis a dez vezes este valor.

A este fenómeno chamamos *calor metabólico*, e ele é capaz de influenciar diretamente a temperatura ambiente, pois o aumento da temperatura dos corpos gerado pelas atividades radia para a envolvente aquecendo-a mais rapidamente².

¹ O corpo humano tem uma temperatura que gira em torno dos 36.5º celsius e não pode variar muito, caso contrário seu funcionamento fica prejudicado e pode, inclusive, levar a óbito, de modo que, como se verá a seguir neste estudo, nossos corpos encontram meios de regular a temperatura interna.

² (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 37).

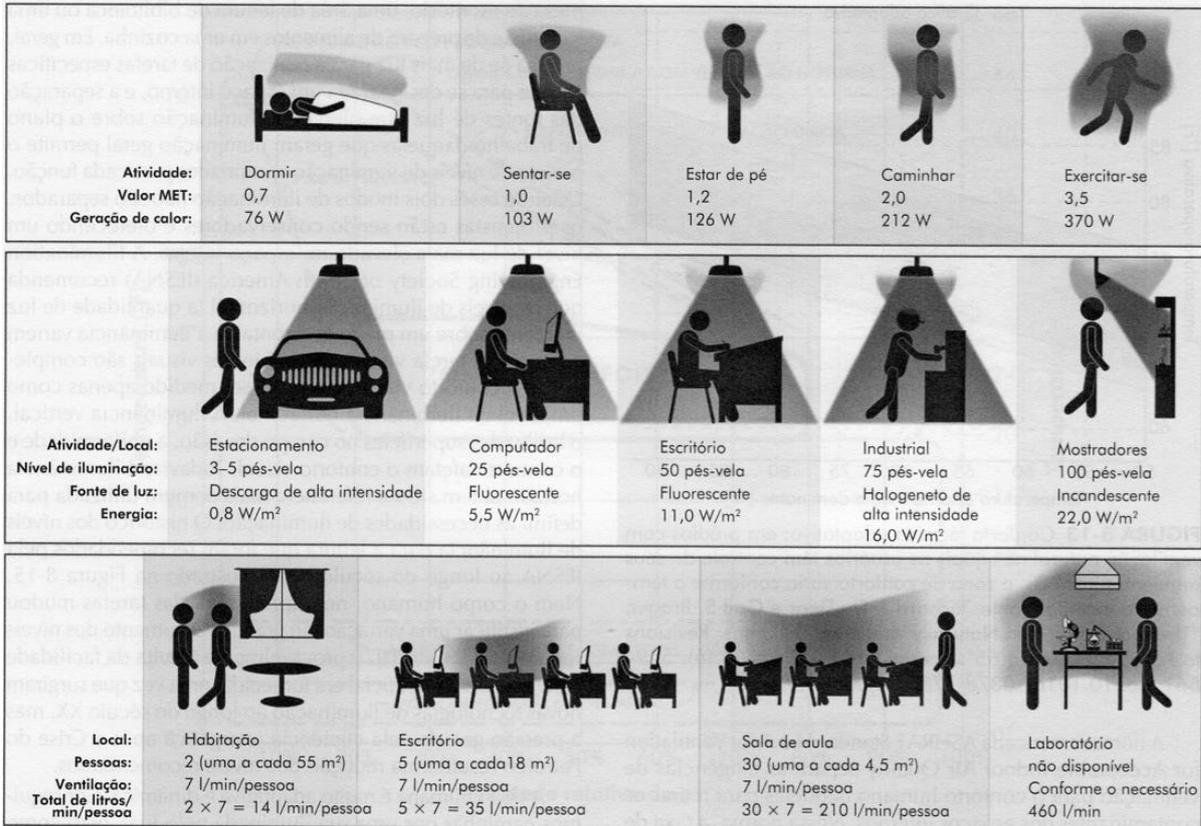


Figura 2 – Índice de energia metabólica dissipada em função de atividades diferentes. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 122).

Isto tudo se dá com objetivo de manter a temperatura corporal interna estável³, de modo que, através da respiração e da transpiração, o corpo humano via de regra consegue controlar sua estabilidade, ou seu *estado de neutralidade térmica*⁴ através daquilo que se chamam *mecanismos latentes de troca de calor*⁵. Quando esta reação natural parece ser insuficiente por causar demasiado desconforto, o homem precisa recorrer a outros meios, como, por exemplo, aumentar a taxa de movimentação de ar que passa pelo corpo, que ajuda a evaporar o suor e acelera a perda convectiva de calor da pele, o que, contudo, só é realmente eficaz à medida que a temperatura do ar é inferior à do corpo.

Em contrapartida, quando o corpo perde calor, arrefecendo-se demasiadamente rápido, tal situação torna-se igualmente perigosa para o homem, e o recurso é recorrer a vestimentas mais pesadas e impermeabilizantes, ou a outras fontes externas.

A este fenómeno onde as temperaturas mais baixas causam a perda de calor corporal de forma mais rápida, enquanto temperaturas mais altas diminuem esta perda, chamamos *troca de calor sensível*⁶, e também pode ser influenciado pela humidade do ar, uma vez que maiores

³ (Allen, 2016, p. 17).

⁴ (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 2-3).

⁵ (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 44).

⁶ (Allen, 2016, pp. 15-18) e (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 2-3).

humidades “*conduzem a menos perda de energia latente para o ar exterior*” (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 39).

Em acréscimo ao que está já dito, as demais atividades quotidianas do homem moderno e, às vezes, dele independentes, também produzem calor tais como cozinhar, tomar banho, luzes acesas ou outras máquinas ou eletrodomésticos em funcionamento todas geram calor ao ambiente em maior ou menor intensidade, influenciando a temperatura no interior dos edifícios diretamente.

Nos edifícios, uma parede exposta constantemente ao sol aquece-se aos poucos de fora para dentro, sendo capaz de, em alguns casos, após um grande período de exposição, conduzir o calor que existe fora do edifício para seu interior.

Os vãos também são importante elemento para o transito de calor entre interior e exterior das construções, pois as correntes de ar permitem o escape ou vazamento do ar aquecido dentro, assim como, em um dia de calor cujo terreno tenha sido demasiadamente aquecido pelos raios solares, causando aumento da temperatura do ar em sua superfície pela irradiação, uma brisa é capaz de carregar este ar aquecido desde o lado de fora para dentro do edifício aquecendo-o, fator que pode ou não ser desejável e, a depender da circunstancia, aproveitado ou evitado.

Por estas razões, um ambiente capaz de gerar *conforto térmico*⁷ é fundamental ao bom funcionamento e bem-estar do corpo humano, pois exigirá menos esforço corporal do organismo para balancear e manter a temperatura interna estável⁸.

Deste modo, pode-se, de forma resumida, dizer que existem três mecanismos básicos para a transferência de calor e regulação do conforto térmico: a radiação, a condução e a convecção⁹.

A *radiação* consiste na transferência de calor através de ondas eletromagnéticas que, ao atravessar o espaço, conduzem as ondas de calor de um objeto a outro¹⁰.

A *condução*, por sua vez, se caracteriza pelo fluxo de calor transmitido de um objeto ao outro pelo contato.

Por fim, a *convecção* é a transferência de calor através do ar, ou a partir do aquecimento ou resfriamento de água que, em seguida, libera o calor de um objeto ao outro¹¹.

⁷ Conforto térmico, muito embora seja um conceito altamente subjetivo, há “*naturalmente, um conteúdo básico correspondente estrita de condições fisiológicas que se reconhece indispensável*” (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 1), de modo que pode ser definido como “*a satisfação que uma pessoa tem com o meio ambiente*” (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 37). Da mesma opinião é Roriz (2007, p. 275).

⁸ (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 1).

⁹ Neste sentido, por exemplo, Allen (2016).

¹⁰ Para evitar que este trabalho se torne desnecessária e demasiadamente longo e técnico, não se explorará as propriedades radiantes de materiais tais como a taxa efetiva de troca de calor, a temperatura radiante média, a refletância, a absortância e a emitância.

¹¹ (Allen, 2016, pp. 53-62).

No que diz respeito à reação do corpo humano a estes três mecanismos, podemos acrescentar que, nos três casos, o que ocorre é a troca de calor entre o corpo e o objeto radiante, convectante (neste caso o próprio ar) ou condutor, fator influenciado pela penetrabilidade da vestimenta, a qual pode permitir em maior ou menor grau este intercâmbio¹².

Mas só a temperatura não basta para garantir boa saúde ao homem. Para isto também é necessário que o ar esteja em condições salubres, tal como se passa a demonstrar.

I.2 – A Qualidade do Ar, Humidade, Condensação e Pontes Térmicas

Para que um ambiente esteja em boas condições sanitárias é necessário que ele seja capaz de permitir uma constante renovação de seu ar interior e evitar o excesso de humidade e de gases danosos, caso contrário a proliferação de bactérias e outros micro-organismos lesivos à saúde pode ocorrer rapidamente de modo a causar doenças¹³.

Isto porque nossa respiração consome oxigénio e libera dióxido carbónico (um gás tóxico quando atinge altas concentrações dentro de um espaço fechado) e vapores d'água; nosso hálito, nossa pele, nossas vestimentas e nossos hábitos, tais como cozinhar, fumar, comer, beber expõem odores, poeiras e microbactérias que se proliferam com certa velocidade. Tudo isto contamina o ar, de tal maneira que se torna constante a necessidade de “renovar” o ar dos ambientes para evitar o aumento de elementos danosos e garantir a salubridade dos espaços, pois, como viu-se:

“O ar atmosférico é composto por uma mistura de gases, vapor de água e uma mistura de contaminantes (fumos, poeiras e outros poluentes gasosos) ...

A mistura de gases recebe o nome de ar seco...

O vapor de água é uma massa de fluído contida no ar seco que varia de um valor zero para o ar completamente seco, a um valor máximo para o ar húmido saturado. Neste último caso, o ar não suporta mais vapor de água e uma redução brusca na sua temperatura provoca a sua precipitação” (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, pp. 18,19).

O excerto acima transcrito, dito resumidamente em outras palavras, nos explica que quanto mais quente um ambiente tornar-se, mais vapor d'água ele será capaz de conter.

¹² (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 44).

¹³ O presente estudo, por focar-se exclusivamente na qualidade do ar, não abordará outras questões de saneamento como, por exemplo, os esgotos e os males que um sistema de escoamento de detritos insuficiente pode causar ao ambiente, ainda que seja sabido que estes afetem diretamente, também, a qualidade do ar.

A *humidade relativa do ar*, portanto, corresponde à quantidade de vapor de água que o ar efetivamente contém, dividida pela quantidade máxima de vapor que ele seria capaz de conter em uma determinada temperatura¹⁴.

Deste modo, se a humidade relativa é equivalente ou superior a 100 por cento, o ar não é mais capaz de reter o vapor de água, condensando-o como uma espécie de “névoa”¹⁵.

Igualmente se a temperatura de um ambiente cair, o vapor de água atingirá seu *ponto de orvalho*, o que significa que, para além da perceção de névoa visível, o vapor começará a condensar e converter-se em líquido, de maneira a tornar a “névoa” mais densa e visíveis as gotículas de água suspensas no ar e em superfícies mais frias, onde estas começam a acumular-se¹⁶.

Portanto, quanto mais seco o ar for, menor será seu ponto de orvalho e, conseqüentemente, quanto maior for sua humidade relativa, maior será este ponto de orvalho¹⁷.

Este fenómeno é comum dentro de edifícios por exemplo nas canalizações de água, ou nas janelas de baixa qualidade isolante térmica num dia frio de inverno quando a temperatura interna está significativamente maior que a externa, causando a condensação da água nestes locais onde as temperaturas interna e externa contrastam, e pode ser observado, por exemplo, em paredes externas, onde a espessura da parede e a falta de isolamento, ou um insuficiente, causam a condensação da água que atinge seu ponto de orvalho o que, com o tempo resulta em bolores, mofo e outras colónias biológicas, danificando a parede naquele ponto onde o vapor de água se acumula e forma a humidade, o que pode ocorrer tanto no interior do edifício como no seu exterior.

A estes locais onde não há uniformidade de resistência térmica ao longo de sua superfície capaz de gerar condensação e, portanto, deterioração do material, chama-se *ponte térmica*. Em acréscimo ao que já está dito, torna-se importante ressaltar que o homem, em suas atividades quotidianas, está constantemente a liberar líquidos no ambiente, seja através de sua transpiração, seja com sua respiração, seja ao cozinhar ou tomar banho por exemplo, o que aumenta a necessidade de renovação constante do ar para evitar o crescimento da humidade relativa de um ambiente e as conseqüências daí advindas.

¹⁴ O uso da fórmula para cálculo deste índice é irrelevante para o presente estudo, razão pela qual será ignorado, uma vez que é o conceito que realmente importa para a compreensão da matéria aqui abordada. Assim, para maiores informações sobre as fórmulas matemáticas para o cálculo do *teor de humidade* aconselha-se a leitura de (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, pp. 15-31) e (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 6-31).

¹⁵ O termo técnico é *vapor saturado húmido*, sendo, por conseguinte, o *vapor saturado seco* o limite de humidade que o ar consegue conter antes de saturar e formar a referida “névoa” ou “neblina” (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 7).

¹⁶ Este fenómeno comum pode ser observado, por exemplo, num dia quente de verão onde há um copo com líquido frio. A perceção que se têm é que o copo parece suar, quando, em realidade, o que ocorre é a condensação dos vapores d’água no entorno do copo, de modo a formar gotículas que, quando se acumulam, ganham peso suficiente para escorrer pela superfície do copo.

¹⁷ (Allen, 2016, pp. 66-71) e (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, pp. 20-28).

Assim:

“O desenvolvimento de fungos nos elementos construtivos é a patologia que mais facilmente indica que a humidade relativa do ar interior é demasiado elevada... e a própria saúde pode ser afetada pela proliferação de esporos. A humidade relativa interior deve estar compreendida entre 30 e 55% para evitar riscos à saúde” (Freitas, 2012, p. 103).

Sobre a questão, Edward Allen lembra-nos que:

“Cada material utilizado na construção de um edifício tem seu próprio conjunto de propriedades físicas relativas ao fluxo de calor. Uma parte importante da tarefa de um projetista consiste em selecionar e combinar materiais de construção de maneira tal que resultem em um edifício cuja vedação desempenhe, tanto quanto possível, a função de controle do clima deste edifício” (Allen, 2016, p. 52)¹⁸.

Tal questão é de grande importância, pois um erro na escolha de materiais, ou uma colocação destes de forma desordenada ou equivocada pode gerar um edifício que desenvolva constantemente patologias em virtude do seu mal ou ineficiente isolamento térmico.

Atualmente, o controle térmico e de qualidade do ar é objeto de grande estudo para a garantia de salubridade e conforto dos habitantes e visitantes de cada edifício. No entanto, como se sabe, questões de clima, por variarem de um local para o outro, acabam por afetar diretamente os edifícios, de modo que, um método de projetar e construir é totalmente diferente a depender do local onde se situa o edifício.

Assim, em um país de clima moderado (como, por exemplo, Portugal) será preciso menor quantidade de isolamentos térmicos do que em um de clima frio (como, por exemplo a Finlândia) e maior do que em um de clima tropical (como, por exemplo, o Brasil).

“Assim, o modo de assegurar o controle do ambiente interior é condicionado pelas características do ambiente exterior, sendo então corrente o estabelecimento de dados climáticos de base em relação aos quais se devem prever as disposições adequadas – soluções construtivas, instalações de aquecimento ou condicionamento de ar, etc. – por forma a serem satisfeitas as exigências de conforto e de qualidade do ar interior dos edifícios” (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 62).

Em Portugal estes dados são coletados e fornecidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e pelo Laboratório Nacional de Meteorologia e Geofísica (LNEC), os quais

¹⁸ Questões de resistência e capacidade térmicas, condutividade e emissividade de calor dos materiais não serão abordados neste estudo, o que se optou para que este não fique muito extenso, uma vez que uma abordagem de cada um dos materiais comumente utilizados na construção, seja em acabamentos, estrutura ou isolantes implicaria na necessidade de um estudo minuciosamente profundo a respeito destes no que tange à sua composição básica e às suas propriedades térmicas, o que foge ao objeto do presente trabalho.

acumulam informações sobre elementos climáticos, tais como vento e chuva, temperatura do ar e índice de radiação solar, humidade e velocidade do ar, etc.

Assim, com base no somatório destes dados coletados estabelece-se uma série de cálculos que levam aos caudais mínimos recomendados para a garantia do *conforto termo-higométrico*¹⁹ e da qualidade do ar de cada ambiente²⁰, o que, até poucas décadas, era ignorado por falta de conhecimento²¹.

I.3 – A Qualidade do Ar nos Edifícios

“No que se refere à qualidade do ar no interior dos edifícios exige-se, em termos gerais, que o ar se mantenha em condições satisfatórias para a sanidade dos utentes, não devendo conter proporções excessivas de gases tóxicos, poeiras, aerossóis nocivos, etc., devendo todos os fumos e gases nocivos ou de cheiro incómodo poder ser rapidamente evacuados” (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 41).

Com esta sentença podemos perceber a importância da necessidade de renovação constante de ar no interior dos edifícios para uma boa *qualidade do ar interior* (QAI). Tanto assim o é que as autoridades possuem regras estritas para que todo edificado possa permitir uma constante circulação de ar de modo a garantir o conforto e a saúde de seus usuários, normas estas que levam em consideração, via de regra, dois fatores principais: o tamanho e uso de cada ambiente; tudo de modo a adaptar cada situação à necessidade que lhe compete²².

O poluente mais comumente encontrado em ambientes encerrados é o dióxido de carbono, sendo os próprios homens, em virtude de sua *atividade metabólica*, grande contributo para o aumento constante destes gases e do consumo de oxigénio dentro do próprio ambiente.

Os quadros abaixo demonstram as médias dos índices de CO₂ que usualmente são produzidos pelo homem, bem como pelos combustíveis mais utilizados nas indústrias, desde a pequena escala até a grande escala²³.

¹⁹ *Conforto termo-higométrico* consiste na combinação comoda da temperatura e da humidade relativa do ar.

²⁰ Uma vez mais aqui ignorar-se-ão estas fórmulas matemáticas, uma vez que não são pertinentes ao presente estudo, já que o trabalho do arquiteto não é realizar estes cálculos, mas tão comente cumprir as exigências impostas pelas autoridades no que diz respeito ao assunto. No entanto, os interessados pela maneira como estes dados são coletados e quantificados para a obtenção dos valores recomendados poderão se aprofundar mais no assunto por meio da consulta de (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 63-87).

²¹ Um exemplo que confirma esta afirmação dá-se pela análise de edificações realizadas por países colonizadores em suas antigas colónias, de modo que buscava-se construir de modo idêntico, ou o mais próximo possível, em todos os locais, o que nos leva a encontrar casas com telhados de grandes ângulos, e lareiras, construídas em alvenarias espessas em pedra, por colonizadores alemães e holandeses nos trópicos, por exemplo.

²² Por exemplo: o volume habitável, a quantidade de pessoas admitidas no ambiente, a possibilidade ou não de se fumar nestes ambientes, a existência ou não de outros elementos como fogões, etc.

²³ (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 42,43)

Actividade	Metabolismo (W)	Produção de CO ₂ (l/s)
Repouso	100	0,0040
Trabalho leve	160 a 320	0,0064 a 0,0128
Trabalho moderado	320 a 480	0,0128 a 0,0192
Trabalho pesado	480 a 650	0,0192 a 0,0260
Trabalho muito pesado	650 a 800	0,0260 a 0,320

Figura 3 – Quadro de produção de CO₂ na atividade metabólica. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 43).

Parâmetros	Concentração máxima permitida (mg/m ³)
Partículas suspensas no ar (PM10)	0,15
Dióxido de carbono (CO ₂)	1800
Monóxido de carbono (CO)	12,5
Ozono (O ₃)	0,2
Formaldeído	0,1
Compostos orgânicos voláteis totais	0,6
Microrganismos – bactérias, fungos	500 UFC ⁽¹⁾
Legionella (se aplicável)	100 UFC ⁽¹⁾
Radon (se aplicável)	400 Bq/m ³ ⁽²⁾

(1) UFC – Unidades Formadoras de Colónias.

(2) Bq/m³ – (Becquerel/m³) – unidade usada para expressar a radioactividade.

Figura 4 – Quadro de concentrações máximas admissíveis de poluentes no interior de edifícios em Portugal (RSECE) [28]. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 43).

Assim, é em vista destes valores que são calculados os caudais de ventilação exigíveis para que esteja garantida a boa qualidade do ar e sua adequação às exigências legais que as promovem²⁴.

Atualmente, para além desta questão, as exigências de ventilação para estes referidos cálculos atendem à uma dupla exigência: pureza do ar e economia de energia, donde resulta que a estratégia para controlo de QAI seja assente em três métodos que, via de regra, são utilizados em simultâneo.

O primeiro destes consiste no *controlo da fonte*, que consiste da redução ou eliminação das emissões. O segundo é o *controlo por remoção*, onde procede-se à eliminação dos contaminantes com o recurso a sistemas de limpeza que fazem circular o ar por meio de filtros

²⁴ Novamente aqui serão ignoradas as fórmulas matemáticas para este cálculo, dado que este não é o objeto do presente estudo. Para mais informações sugere-se a consulta de (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 41-62).

mecânicos, ou electrostáticos, ou por materiais absorventes tais como o carvão ativado ou a albumina. Por fim, encontramos o *controle por diluição*, onde “*se procura diluir a concentração interna de poluentes no ar de renovação proveniente do exterior*” (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 58).

Deste modo, e no que diz respeito ao terceiro ponto mencionado, há de se notar que nem sempre a atmosfera exterior do edifício se encontra em boas condições. Muitos gases nocivos e outros detritos suspensos produzidos por automóveis ou indústrias próximas podem prejudicar o ar externo, de tal forma que simplesmente promover uma troca do ar do interior do edifício pelo que vem de fora pode acabar por ser mais prejudicial à saúde dos ocupantes. Nestes casos, para que haja efetiva melhoria da QAI tornar-se-á necessário tratar mecanicamente o ar que vem de fora por meio de processos de filtração²⁵.

Há diversos tipos de filtro, desde o mais simples (i) de fibra (*filtração por colisão viscosa*), que retém apenas partículas de maiores dimensões; a (ii) filtros electrostáticos²⁶ que são mais eficientes para a retenção de pólenes e poeiras; a (iii) filtros de pregas e de saco, que utilizam difusão e intercepção para seu funcionamento que, para além de pólenes e poeiras, consegue reter fumos de óleos e tabacos, por exemplo; a (iv) *filtros absolutos* ou HEPA (*High-Efficiency Particulate Air Filter*), os quais garantem valores de filtração próximos de 98% (noventa e oito por cento)²⁷.

I.4 – Renovação do Ar por Convecção

A *convecção*, como visto anteriormente, consiste basicamente na permissão de circulação de ar dentro de um edifício em virtude da diferença de pressão, onde o ar tende a migrar de uma área de alta pressão para uma de baixa pressão. É o que faz com que o ar mais quente suba enquanto o mais frio desça, por exemplo.

Deste modo, ao abirmos uma janela, por exemplo, pode-se ser capaz de obter certo conforto térmico, uma vez que o movimento gerado, em virtude da diferença de pressão entre o interior e o exterior, acaba por renovar o ar do edifício, de maneira a resfriá-lo e carregar o ar saturado de humidade.

Ainda mais eficiente é a abertura de mais de uma janela, ou uma janela e uma porta, por exemplo, de modo a permitir que o ar tenha um trajeto mais contínuo, pois isto ocasiona uma renovação mais rápida e constante do ar, além do resfriamento mais rápido e eficiente.

Assim, quanto mais generosos são os vãos, mais eficiente tende a ser a circulação de ar.

²⁵ (Roriz, 2007, p. 267).

²⁶ Estes filtros funcionam a partir do aproveitamento da electricidade estática das partículas e, por isso, não consomem energia.

²⁷ (Roriz, 2007, p. 277).

Portanto o uso de janelas, portas, claraboias e chaminés é o recurso mais utilizado por ser altamente eficiente, não apenas para garantir conforto térmico, mas também para permitir uma renovação constante do ar e uma melhor QAI nos casos onde não existe saturação danosa do ar no exterior.

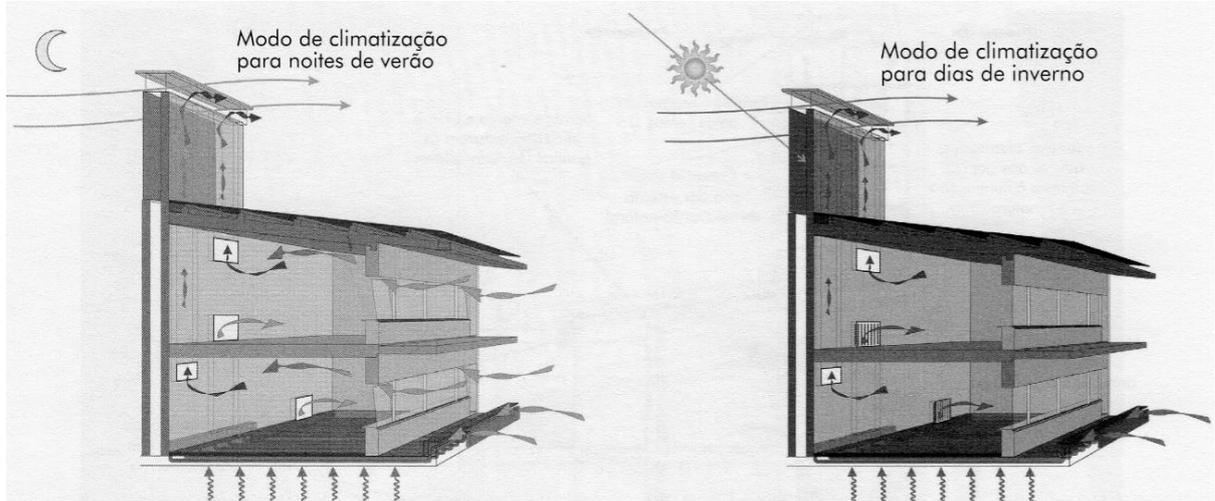


Figura 5 – Modelo de renovação de ar por convecção- Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 152).

Em países muito quentes é possível encontrar, ainda, sistemas de túneis de ar, que captam o ar dos ventos a partir de condutas, carregando-o por um túnel que comumente se vale de uma corrente de água subterrânea para arrefecê-lo, sendo que a diferença de pressão causada acaba por impulsionar este ar resfriado para o interior dos edifícios por meio de aberturas.

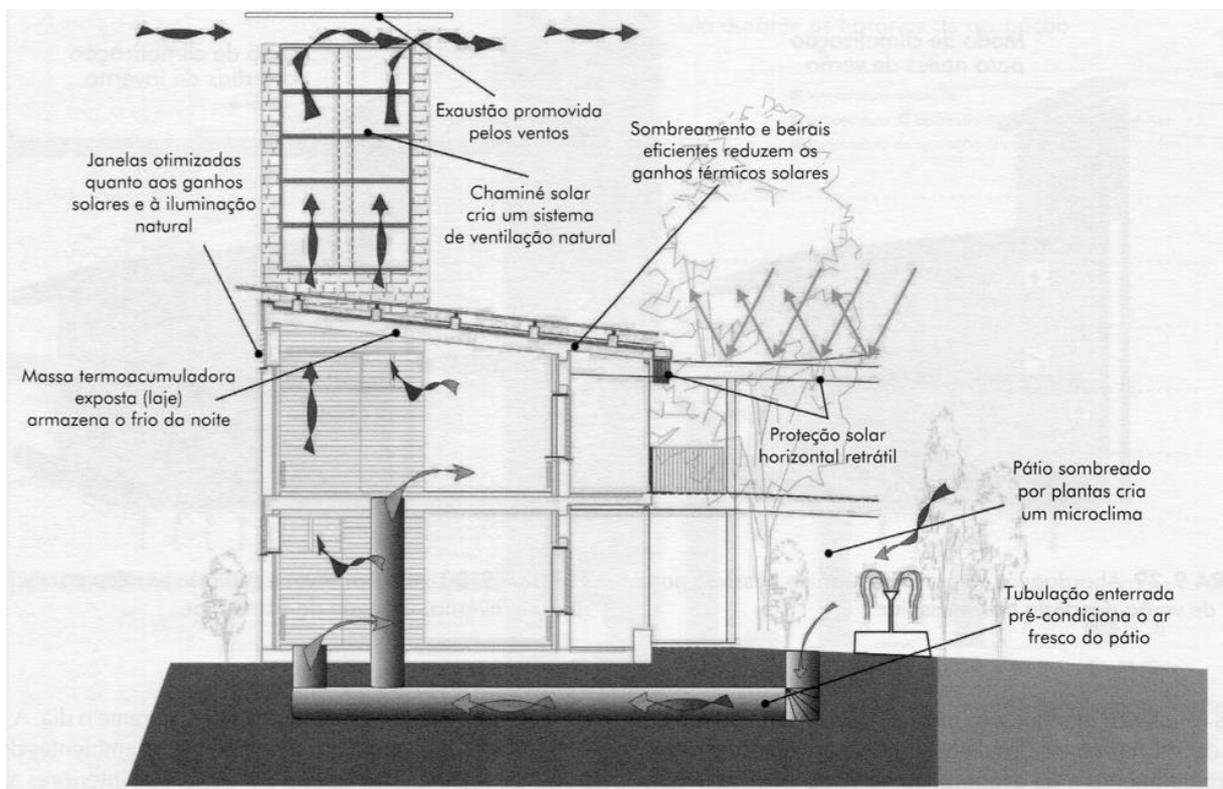


Figura 6 – Modelo de sistema de túnel de ar - Escola em Damasco. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 155).

Outro método de funcionamento deste sistema consiste de torres que captam o ar exterior, impulsionado pelo vento em grandes altitudes, e leva este ar para dentro dos edifícios onde são distribuídos a partir de aberturas.

Porém, como nos lembra Luís Roriz:

A ventilação natural permite efetuar uma renovação do ar interior e eliminar parcial ou totalmente a carga térmica dissipada num edifício. No entanto nunca será possível com este tipo de ventilação garantir, para todos os períodos de ocupação, a qualidade do ar ou as corretas condições de temperatura, humidade e velocidade do ar” (Roriz, 2007, p. 270).

Deste modo, uso de recursos mecânicos, tais como ventiladores elétricos²⁸ aumenta a taxa convectiva ao provocar o aumento de pressão do ar que atravessa o ambiente e, conseqüentemente a movimentação do ar.

Este mecanismo auxilia na renovação do ar, sendo recurso barato e eficiente para melhoria da QAI (quando o ambiente externo é salubre) e da sensação térmica em dias quentes, contudo, ineficaz para a garantia de boas temperaturas em dias mais frios, a não ser que estejam auxiliados por um sistema de aquecimento por radiação junto à saída do percurso de ar, onde o ar aquecido é “empurrado” pela corrente de ar gerada pela ventilação mecânica, e, assim, aumentando a temperatura do ambiente.

No entanto, para garantir uma boa qualidade do ar em localidades onde o ar está saturado de poluentes é preciso recorrer a outros métodos.

I.5 – Renovação Mecânica do Ar

Conforme adiantado anteriormente, os sistemas de filtragem do ar para a eliminação de partículas respiráveis em suspensão (RSP) são “*a forma mais simples de garantir a remoção de concentrações de gases ou vapores indesejáveis (contaminantes) no interior de um edifício*” (Roriz, 2007, p. 267), e diversos são os sistemas que permitem esta purificação mecânica do ar.

Importante recordar, contudo, que a instalação destes sistemas não garante por si só a obtenção de um ar de qualidade, pois sistemas mal projetados ou sem manutenção podem causar a piora dos índices poluentes nos edifícios, uma vez que partículas lesivas, tais como fungos, bactérias, pólenes, poeiras e sujidades podem acumular-se nas superfícies tanto do

²⁸ *Ventilação forçada*. Há diversos tipos de ventiladores, sendo os mais comuns os ventiladores axiais e centrífugos (Roriz, 2007, pp. 289-294).

interior do local mecanicamente ventilado como dentro das próprias condutas de ar comprometendo a saúde dos ocupantes²⁹.

É o que se chama de *síndrome do edifício doente* ou *problema do edifício doente*³⁰ e, há muito vem sendo referenciada pelos manuais, dada sua possibilidade de aumento de alergias e doenças de pele e respiratórias tais como a asma e a tuberculose. Além disto, o aparecimento de legionella em diversos sistemas de climatização acabaram por causar uma espécie de “caça às bruxas” contra os sistemas de condicionamento de ar, quando, em verdade o problema pode não estar no sistema em si, mas sim na sua manutenção (na falta dela, ou numa deficiente)³¹ que afetam a QAI.

²⁹ Neste sentido (Roriz, 2007, pp. 277-278).

³⁰ Sobre o assunto, Edward Allen resume de forma bastante clara os diversos fatores que podem gerar este efeito indesejado, desde as aqui mencionadas, até a liberação de gases dos materiais sintéticos utilizados nas construções atuais, razão pela qual sugere-se a leitura de (Allen, 2016, pp. 244-245).

³¹ (Roriz, 2007, p. 268).

Capítulo II – Métodos de Manipulação e Controlo da Temperatura e da Qualidade do Ar Interior

II. 1 – Controlo Térmico a Partir da Radiação

II.1.1 – Controlo da Radiação Natural

Uma das maneiras de controlo da temperatura interna de um edifício consiste em regular a *temperatura de radiação média* (TRM). Esta, por sua vez, pode ser definida como “*uma média das temperaturas de cada uma das superfícies (...), ponderadas de acordo com o ângulo sólido submetido por cada uma delas e pela emissividade térmica de cada uma*” (Allen, 2016, p. 73).

Ou seja, como nem todas as superfícies de um ambiente estão igualmente expostas às mesmas qualidades de radiação, não é possível que estas consigam refletir calor em igual intensidade, sendo a média destas áreas que recebem calor por radiação a TRM, ou, em outras palavras, a TRM é resultado da combinação de diferentes temperaturas radiantes ou das diferentes *cargas térmicas por transmissão*.

Este fenómeno, portanto, não é medida suficiente capaz de, por si só, gerar conforto térmico, uma vez que dependerá da incidência de zonas de calor por radiação para que estas mesmas superfícies se aqueçam e produzam calor.

Um homem sentado num campo aberto a noite num dia frio de inverno, com uma fogueira acesa à sua frente, por exemplo, embora tenha uma alta temperatura causada pelo fogo, terá uma temperatura fria às suas costas o que, via de regra, causa desconforto. Assim, embora a TRM daquele local, num raio específico de alcance do calor causado pelo lume da fogueira e ao alcance daquele sujeito hipotético possa parecer agradável a uma análise meramente numérica, o conforto térmico dela resultante é quase inexistente.

Deste modo, com intuito de evitar grandes e rápidos ganhos ou perdas de calor no corpo, é necessário que haja um equilíbrio entre as temperaturas das superfícies às quais este mesmo corpo está exposto.

Portanto, a fim de aprimorar o conforto térmico por radiação no interior dos edifícios alguns movimentos podem ser propostos.

O mais simples e comum destes é a introdução de vãos de janela que permitam a entrada de sol no ambiente de forma mais equânime, pois os raios solares aqueceriam as superfícies com as quais entrar em contato, de maneira que estas, por sua vez, passem a emitir radiação para o ambiente circunvizinho e aquecê-lo, aumentando, por conseguinte, a TRM. Mas este sistema, *per se* é insuficiente, pois não permite total controlo sobre o ambiente como visto, uma vez que a luz solar não incide igualmente em todas as superfícies, varia durante o decorrer do dia e é inexistente pela noite. Além disto, dias nublados ou chuvosos, por exemplo,

causam uma redução, por vezes drástica, na capacidade radiativa do sol, sem contar que este método não é capaz de arrefecer o ambiente, mas apenas de aquecê-lo.

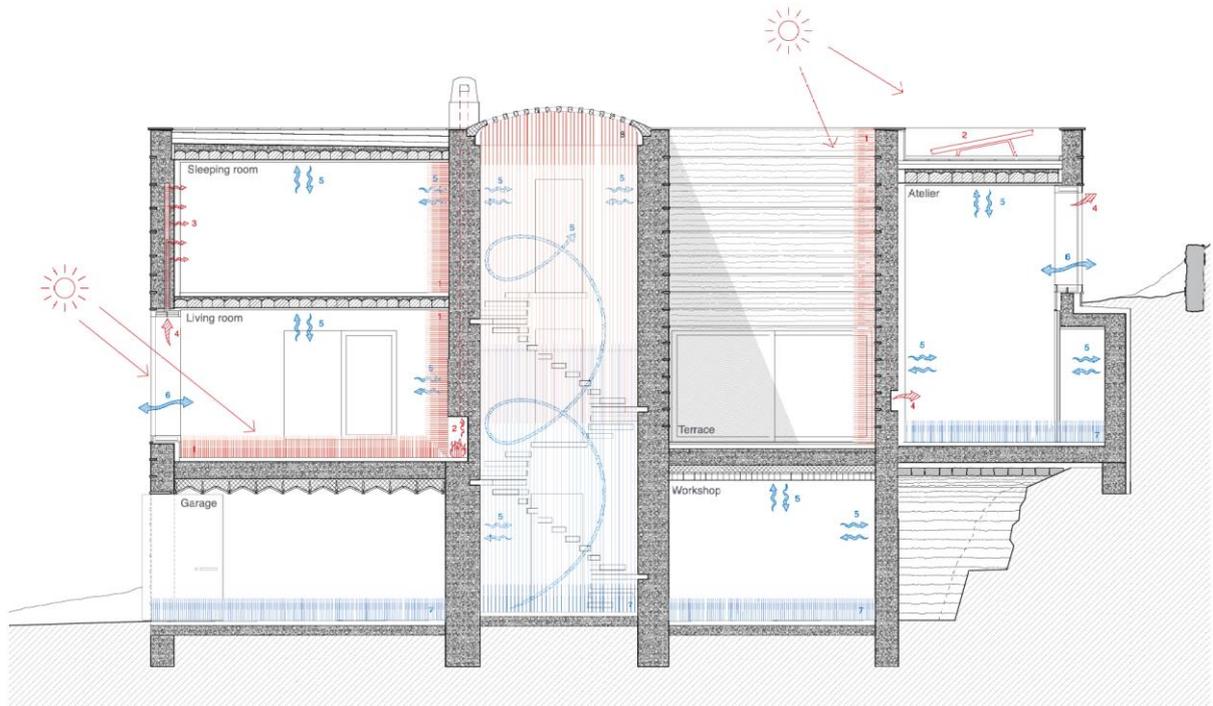


Figura 7 – Exemplo uso de radiação para controlo térmico de edifícios. Casa Rauch, Schlins, Austria - Roger Boltshauser. Fonte: (Casa Rauch, 2021, p. 40).

A instalação de sistemas de isolamento térmico nas paredes, tetos e pisos, a introdução de caixilharias mais complexas com vidros duplos ou múltiplos, além de persianas ou cortinas isolantes também são elementos que auxiliam no controle da temperatura interna de um edifício, mas não são capazes de, por si só, emitirem calor ou frio, mas apenas controlar a radiação incidente em algumas superfícies.



Figura 8 – Exemplo de circulação de ar proporcionado por uma correta escolha de materiais e de abertura de vãos. Centro de Investigación ICTA-ICP. UAB, Barcelona, Espanha - Harquitectes. Fonte: (Centro de Investigación ICTA-ICP. UAB, 2020, p. 99).

O uso de materiais refletores pode auxiliar no aumento do conforto térmico também, elemento muito explorado pelos arquitetos e designers de móveis, contudo pouco eficiente para garantir um verdadeiro conforto térmico, uma vez que apenas conseguem refletir o calor de volta ao ambiente, sem absorvê-lo, ou absorvendo-o em menor quantidade.

Assim, os sistemas mais comumente utilizados são no sentido não de permitir a entrada de calor por radiação, mas sim de bloquear a incidência de raios solares que aqueçam demasiadamente o ambiente. Artíficos desta natureza são, por exemplo, lajes ou coberturas maiores que o limite do edifício que permitam a incidência do sol no inverno, mas evitem-na nos períodos mais quentes do ano. Cortinas, estores ou persianas também auxiliam este processo.

O uso de materiais altamente reflexivos nas coberturas também pode auxiliar no aumento do conforto térmico de um local, assim como a introdução de elementos que permitam o escoamento de calor como, por exemplo, aberturas nos telhados capazes de gerar circulação

de ar de maneira a deixar escapar o ar quente irradiado pelas superfícies atingidas pelo sol e renovar o ar no interior do edifício.

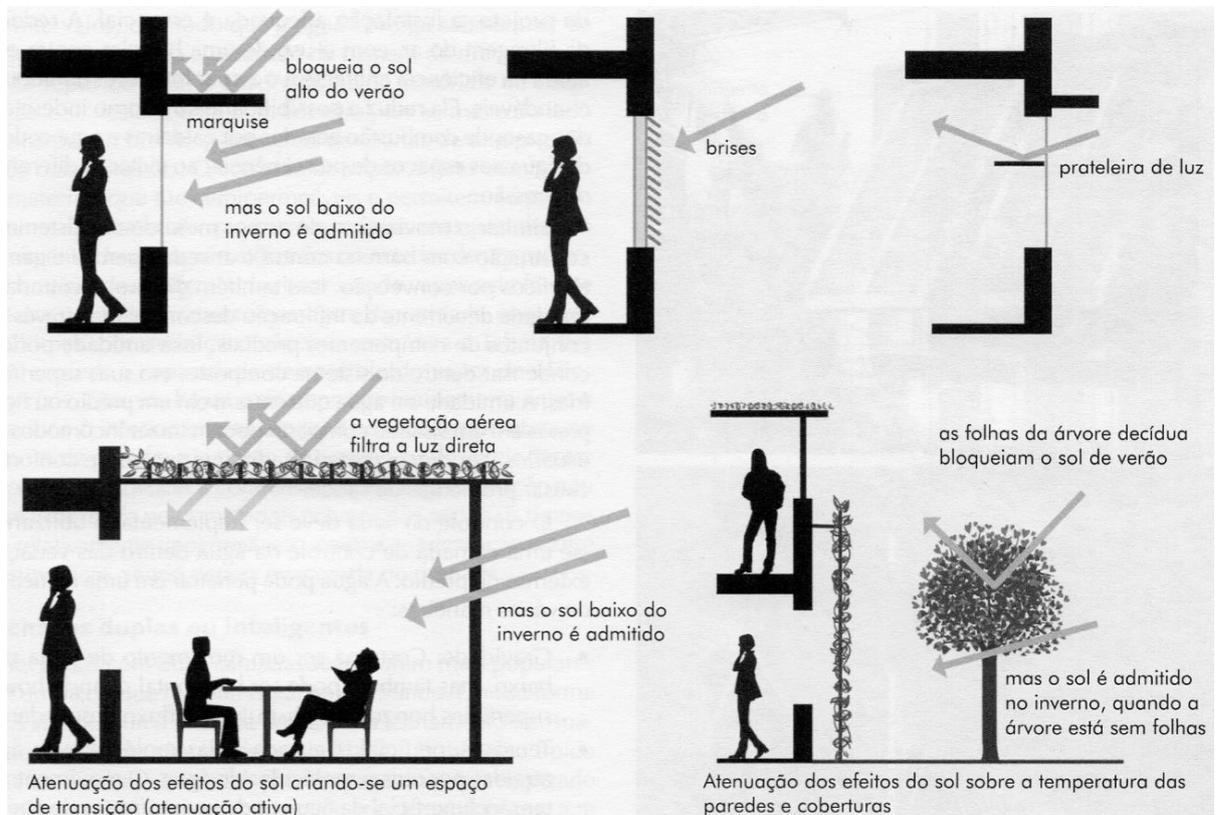


Figura 9 – Modelos de aproveitamento e bloqueio de radiação solar. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 135).

A abertura de vãos capazes de forçar a circulação cruzada de ar também pode reduzir a temperatura interna de um edifício por permitir que o ar aquecido pela radiação seja carregado pela corrente de ar, baixando a sensação térmica e aumentando o conforto em dias de calor.

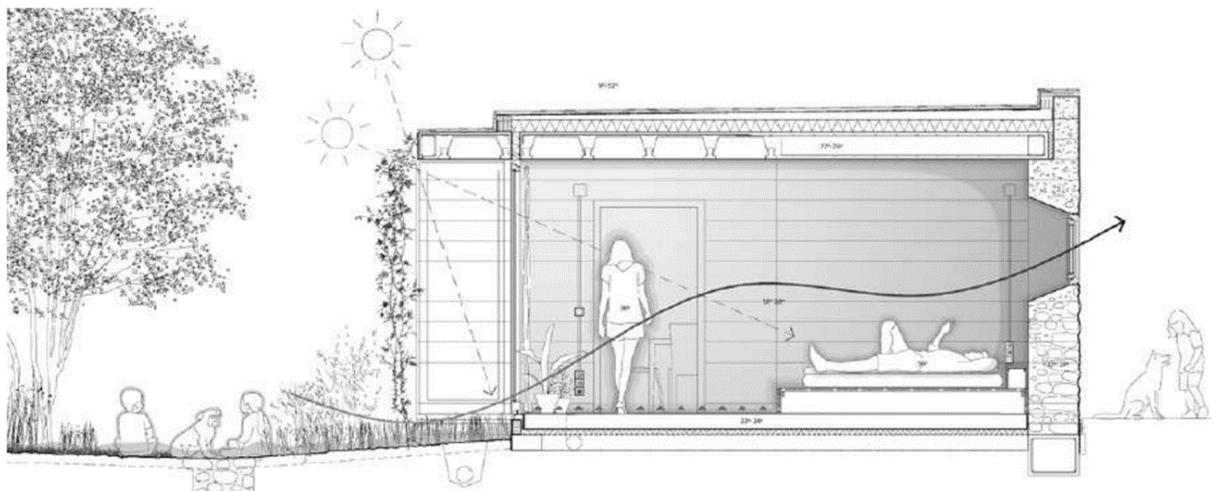


Figura 10 – Exemplo de circulação de ar proporcionado pela abertura de vãos. Casa em Rua Ullastret, Girona, Espanha - Harquitectes. Fonte: (Casa en Ullastret, 2020, p. 199).

O uso de vegetação exterior também é um recurso bastante utilizado, especialmente vegetação com folhagem não permanente, de modo a criar sombra nas estações mais quentes e, com a queda das folhas nas estações frias, permitir a penetração da luz solar e aumentar a radiação o que, conseqüentemente, causa ganho de calor no interior.

Uma correta consciência da orientação solar do edifício é fundamental para que estes elementos possam ser utilizados de maneira mais eficiente, pois saber onde incidirá o sol e de onde mais comumente virão os ventos pode ajudar muito a garantir um melhor conforto térmico interior sem o recurso constante a meios mecânicos tais como os que serão explorados mais adiante neste trabalho.

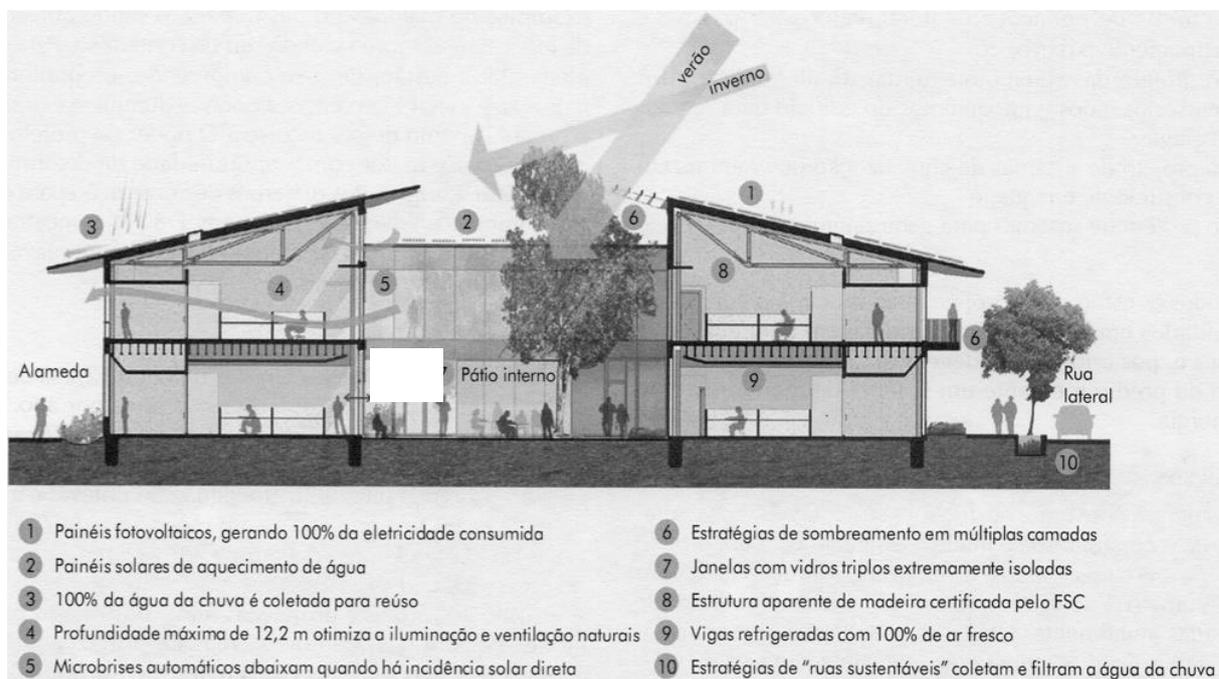


Figura 11 – Modelo de aproveitamento de radiação solar - Edifício Sede da Packard Foundation. Fonte: (Keeler & Vaidya, 2018, p. 7).

No entanto todos estes dispositivos e artifícios, chamados de *sistemas passivos ou de ganho direto*, acabam por, em sua grande parte, causar a absorção da radiação solar e convertê-la em energia de calor convectado, ou para impedir a incidência dos raios de sol com objetivo de evitar ou aumento indesejado de temperatura por radiação.

Assim, nenhum destes meios pacíficos é eficiente para a redução real da temperatura do ar interno dos edifícios, ou para seu amento controlado, servindo, primordialmente, como barreira ao ganho de calor por radiação do sol.

Deste modo, com o objetivo de efetivamente conseguir um ganho de calor mais uniforme e controlado faz-se necessário recorrer a meios artificiais ou mecânicos de radiação.

II.1.2 – Meios Artificiais de Controlo de Radiação

Aquecer pequenas superfícies, tais como filamentos elétricos, acender lareiras, ou mesmo o uso de aquecedores elétricos ou a gás ajudam a melhorar o conforto térmico em ambientes frios. Contudo, para que estes sistemas sejam minimamente eficazes é necessário que o calor emitido por estes mecanismos seja muito superior à temperatura corporal, pois há, em alguns casos, grande perda (como as lareiras), em outros a radiação concentra-se apenas no arredor da superfície aquecida e, aos poucos, o ar começa a aquecer seu entorno, mas é incapaz, contudo, de abraçar todo o ambiente, ou mesmo de fazê-lo de forma equânime.

Outra maneira de melhorar o conforto térmico consiste em aquecer grandes superfícies como tetos, paredes ou pisos de modo a permitir que estes irradiem calor ao ambiente mais uniformemente. O uso de tetos aquecidos é, contudo, muitas vezes menos eficiente que o mesmo mecanismo utilizado nos pisos, uma vez que as ondas de calor tendem a subir, enquanto as de frio a descer, de modo que os tetos radiantes acabam por concentrar a temperatura mais elevada junto de si próprios. Já as paredes concentram a temperatura manipulada próximo de si, e não abarca todo o ambiente que se pretende climatizar. Portanto, o gasto de energia dos sistemas colocados junto às coberturas e às laterais é bastante superior do que o sistema de pavimentar, e com menor eficácia.

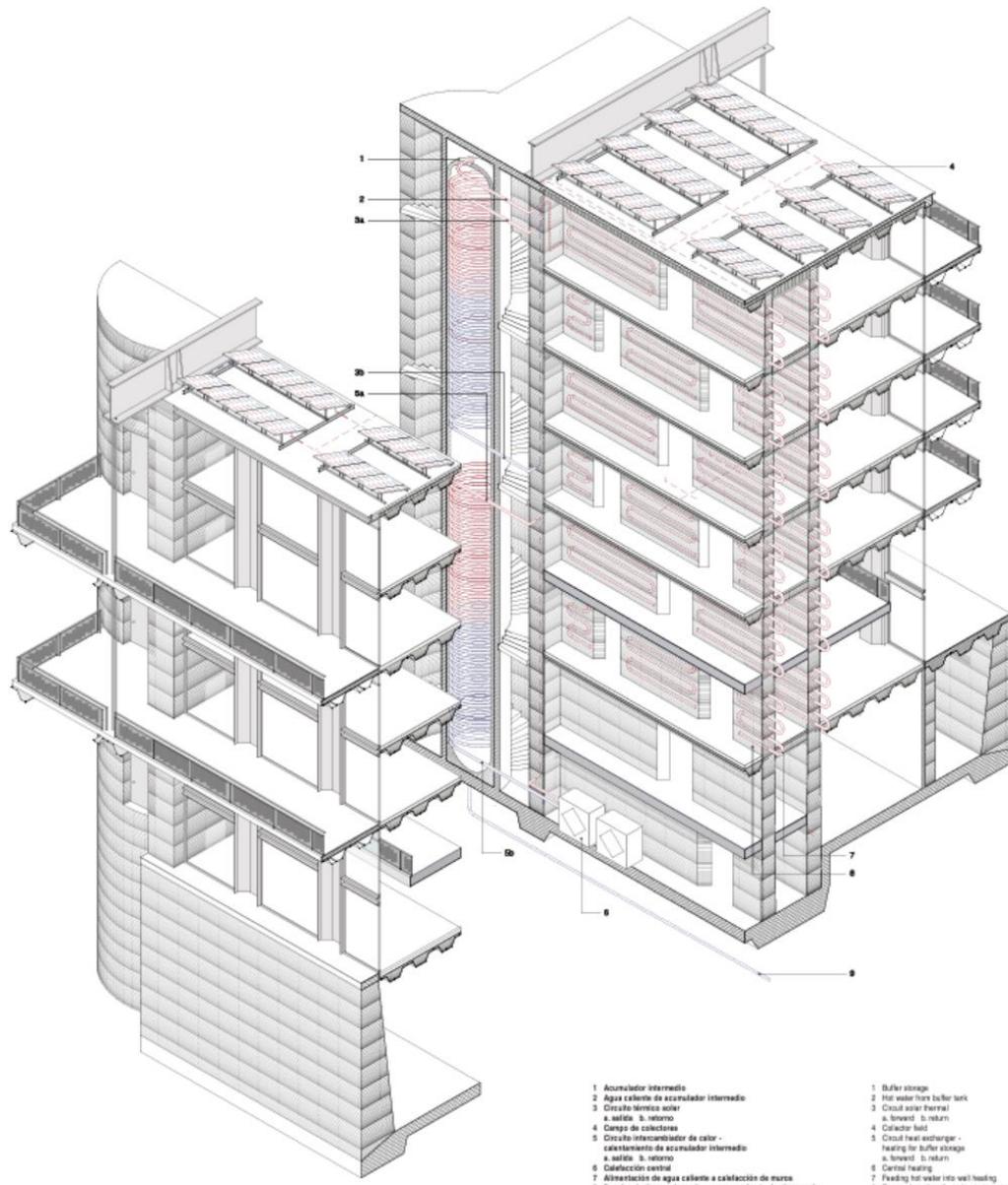
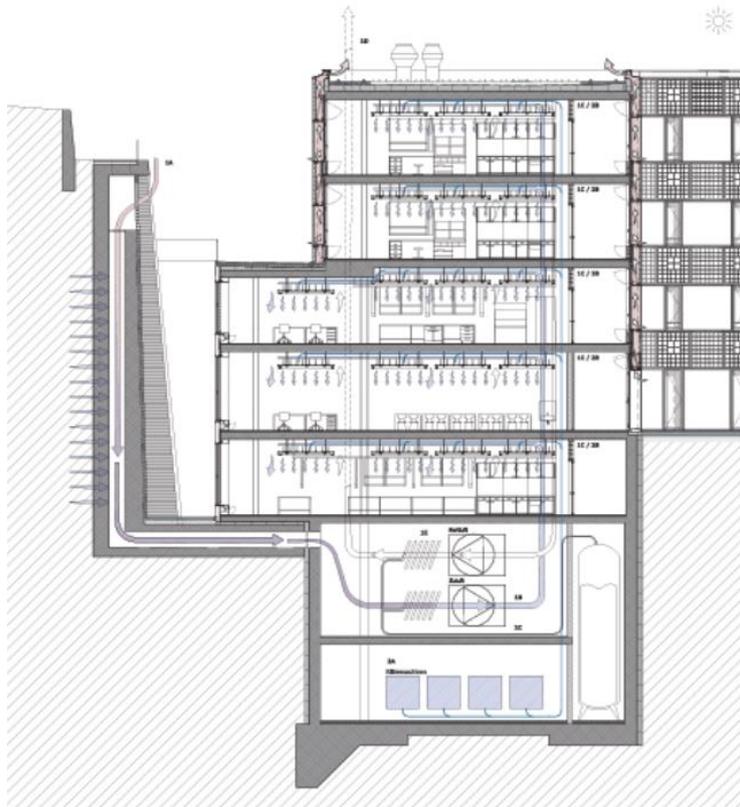


Figura 12 – Exemplo de climatização por meio de paredes radiantes. Estudo de caso Casa de Aço, Raperswill-Jona, Suíça - Roger Boltshauser. Fonte: (Estudio de caso Casa de Acero, 2021, p. 182).



↑ Diagrama del clima. Verano / Climate diagram. Summer ↓ Diagrama del clima. Invierno / Climate diagram. Winter

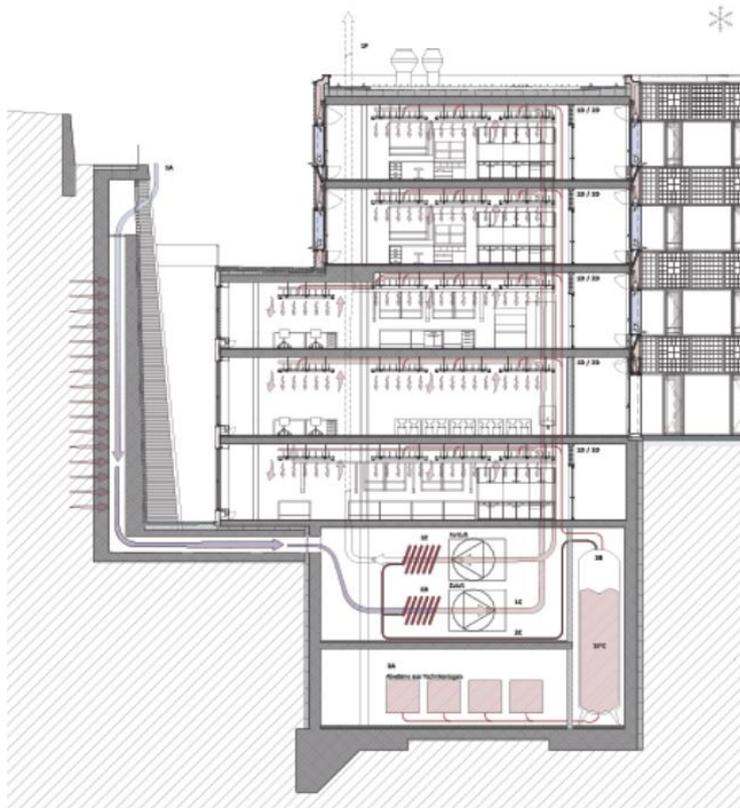


Figura 13 – Exemplo de climatização por meio de tetos radiantes. Edifício de investigação GLC, ETH, Zurique, Suíça - Roger Boltshauser. Fonte: (Edifício de investigação GLC, ETH, 2021, p. 308).

Deste modo, pisos radiantes tendem a ser a solução mais eficaz, pois permite que a temperatura radiada por estas superfícies fique em uma faixa a apenas alguns poucos graus acima da temperatura desejada para o ambiente para que se atinja o conforto pretendido.

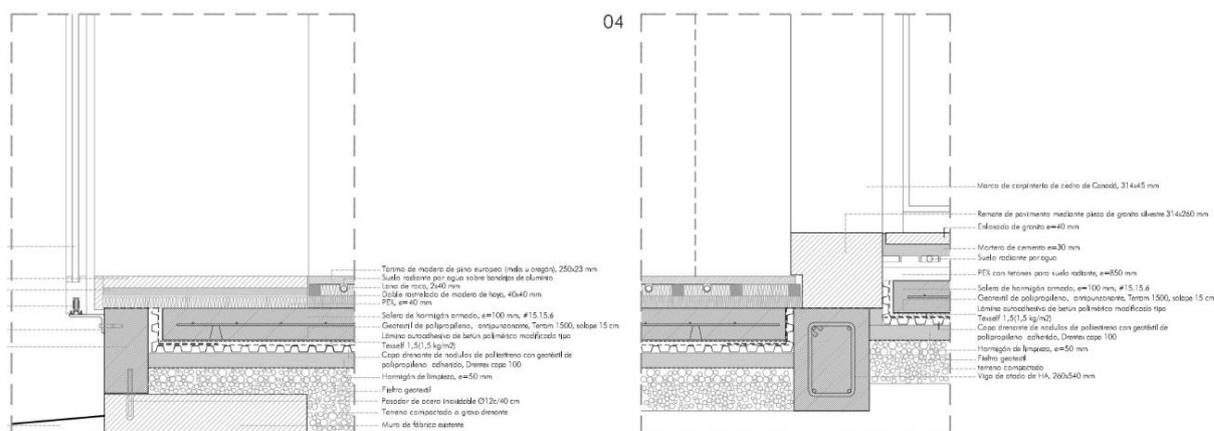


Figura 14 – Modelo de piso radiante. Fonte: (Tectónica, 2023).

Contudo, em alguns casos, este sistema pode ser de difícil ou impossível instalação, como ocorre, por exemplo, na maioria das remodelações ou restauros.

Para o resfriamento do ambiente pelo método da radiação há meios mais restritos de o fazê-lo isto porque, como visto anteriormente no presente, uma superfície com temperatura inferior à do ambiente acaba por concentrar humidade condensada em si, por vezes cobrindo-se de gelo, o que faz com que estes elementos sejam muito menos eficazes.

Basta lembrar as torres de cervejas nos bares, muitas das vezes cobertas por uma grossa camada de gelo, e incapazes de reduzir a temperatura ambiente, servindo, apenas e tão somente para garantir que o líquido a ser servido saia em temperatura adequada para consumo.

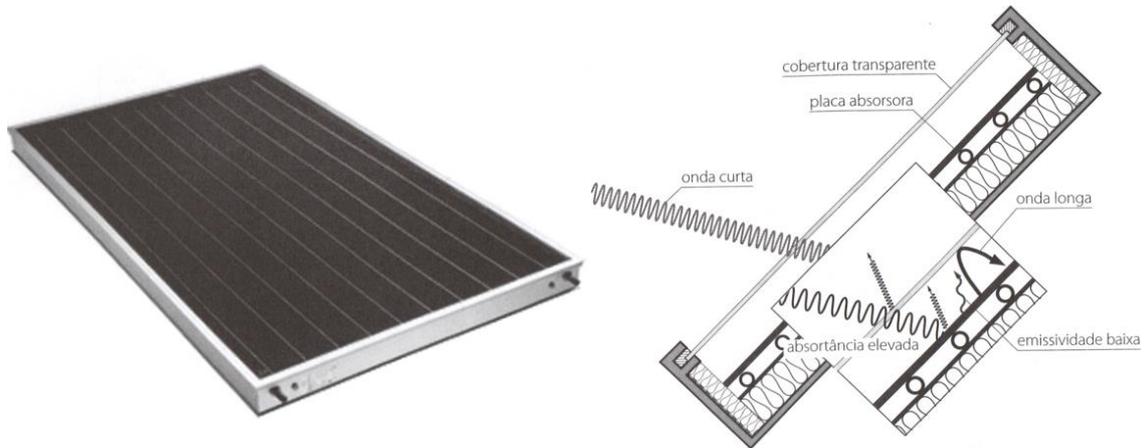
Sistemas coletores de placas planas (CPP), ou *sistemas de captação* também são um método relativamente eficaz e sustentável, pois, por serem ativos, conseguem injetar o calor absorvido para dentro do ambiente. Estes consistem de placas de absorção, normalmente de alumínio ou cobre, com uma pintura negra, ou com um tratamento alternativo que lhe garanta uma captação da radiação³²; uma cobertura transparente (vidro ou plástico) para passagem da luz solar e uma caixa envolvente de proteção.

A caixa, por sua vez, pode ser constituída de madeira, aço galvanizado, alumínio, plástico ou outro material, além de um isolante térmico³³ colocado por debaixo das placas de absorção. Entre a cobertura e placa de absorção encontramos um sistema de tubagem que contém o ar ou líquido que receberá o calor do sol e da radiação das placas de absorção. Deste modo, a mudança da pressão interna da tubagem fará circular o ar ou líquido aquecido, conduzindo-o

³² "...alta absorção solar e baixa emissão em radiações de onda larga" (Santos, AVAC, um manual de apoio - Complementos, 2018, p. 49).

³³ Normalmente lã de vidro ou lã de rocha (Santos, AVAC, um manual de apoio - Complementos, 2018, p. 49).

para centrais armazenadoras de calor preenchidas com líquidos, ou sais ou pedras, tais como demonstram as figuras 15 e 16 abaixo.



- ① A caixa, que contém todos os elementos do coletor e serve para protegê-los do ambiente exterior.
- ② A junta de estanquidade da cobertura transparente, que é um material elástico cuja principal função é impedir a entrada de água da chuva.
- ③ A cobertura transparente, de vidro ou plástico transparente, que é o elemento responsável pelo efeito de estufa (Figura 5.7) sobre a placa de absorção. Deixa passar a maior parte da radiação solar incidente (onda curta) e impede a saída da radiação infravermelha resultante do aquecimento da superfície absorvedora (onda longa). Para tal, o material deve ter uma transmitância selectiva. A fim de maximizar os ganhos do coletor, sobre a superfície exterior da cobertura transparente pode ser aplicado um tratamen-

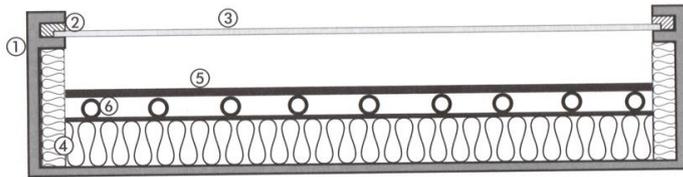


Figura 15 – Exemplo de coletor solar térmico; modo de funcionamento do coletor e corte técnico de coletor solar térmico. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, pp. 408-409).

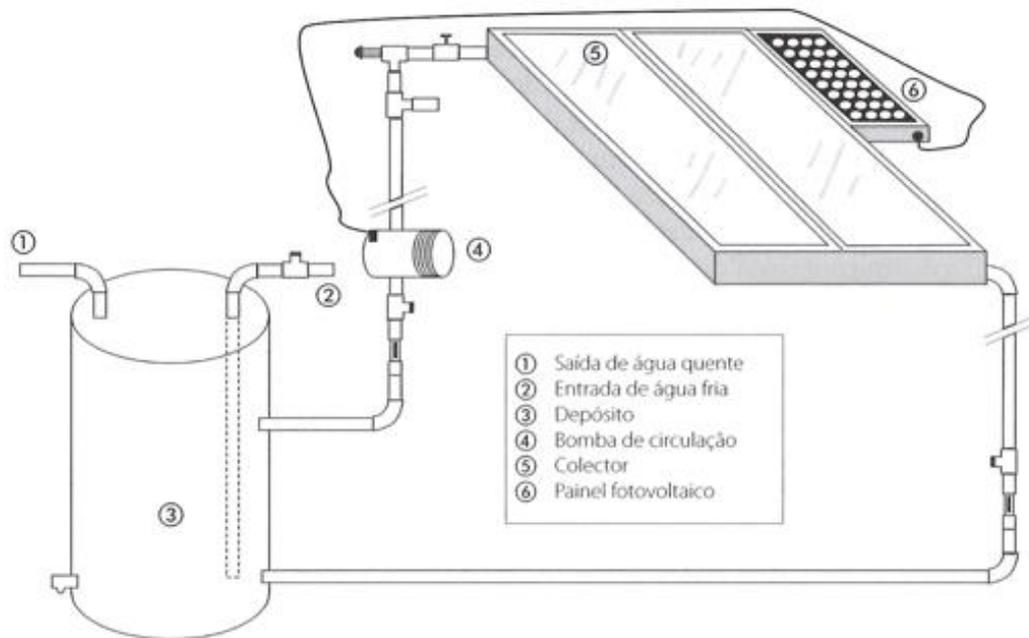


Figura 16 – Funcionamento do sistema completo de coletores solares térmicos com armazenamento de calor. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 426).

Os CPPs ficam normalmente instalados na cobertura dos edifícios (o que é importante é que estas placas recebam incidência direta do sol), enquanto os coletores ficam situados dentro do edifício, onde distribuem o calor absorvido pelas placas por meio mecânico através de dutos para o interior que se pretenda ver aquecido.

Este sistema mecânico sobressalente, contudo, precisa possuir autonomia para aquecer o ambiente independentemente dos CPP para o caso de períodos prolongados de baixa ou nenhuma incidência solar capaz de produzir calor (Allen, 2016, p. 90).

II.2 – O Controle de Temperatura por Água e Vapor

Sistemas de distribuição de calor por vapor foram muito populares durante muito tempo e é possível encontrá-los em muitos edifícios construídos até os anos 50 do século passado.

Consistem de uma caldeira situada numa área técnica do edificado, auxiliada por uma fonte de calor em combustão que aquece a água em seu interior, gerando pressão por vapor, de modo a permitir sua circulação ao longo de uma canalização instalada para este fim até terminais “radiadores”³⁴, normalmente construídos em ferro fundido. Estes, por sua vez, possuem uma válvula para liberação do calor para o ambiente. Uma vez condensado, o líquido é bombeado de volta à caldeira por meio de uma rede de retorno.

³⁴ Na realidade o funcionamento deste sistema dá-se por convecção e não por radiação, contudo o nome “radiador” é comumente utilizado para estes mecanismos de geração de calor no interior do ambiente que se pretende aquecer.

Outro meio, conhecido como *aquecimento hidrónico*, consiste da distribuição e circulação de água aquecida por uma caldeira a partir de um tanque de compressão, porém, diferentemente do sistema à vapor, a água circula em seu estado líquido, o que demanda uma quantidade significativamente superior de água do que aquele anteriormente descrito.

Ambos são sistemas bastante silenciosos, e, por isso atraentes.

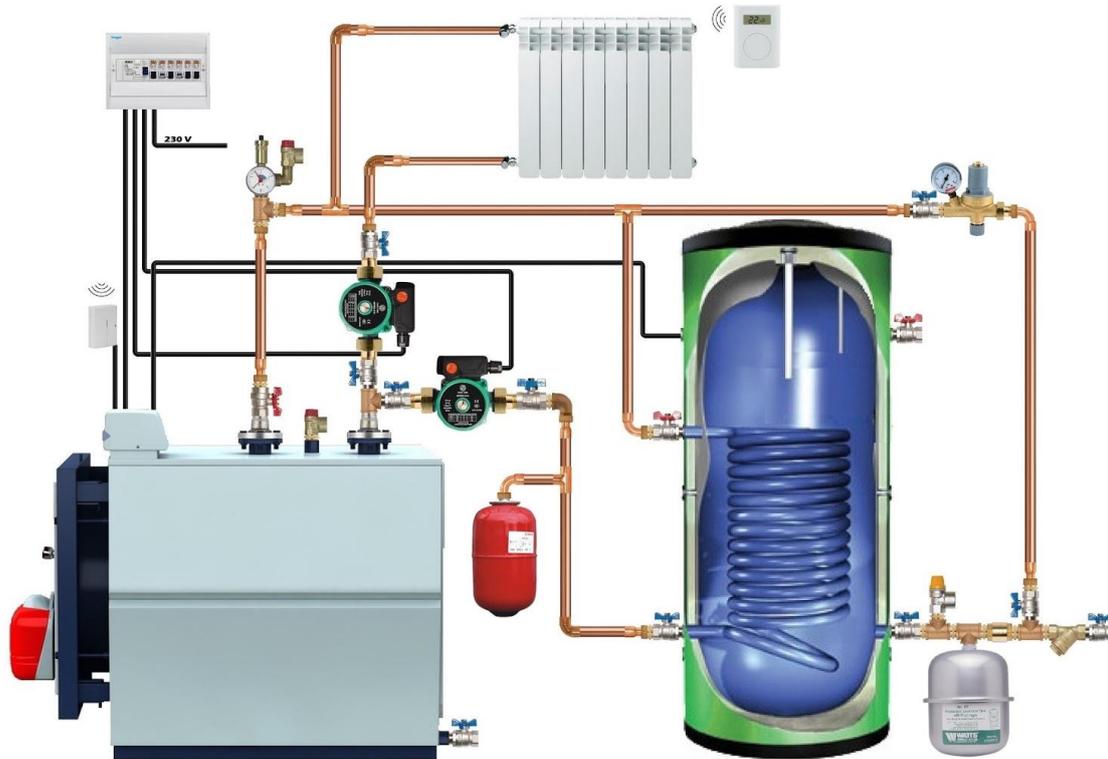


Figura 17 – Modelo de aquecimento hidrónico. Fonte: (Dicas & Esquemas, 2023).

Em locais quentes e secos pode-se recorrer a um *sistema de resfriamento por evaporação*, o qual além de barato, é muitas vezes capaz de garantir certo conforto térmico. Seu funcionamento dá-se pela instalação de um equipamento de ventilação que se socorre de uma almofada que absorve humidade a partir de um evaporador. A humidade retida na almofada pelo vapor de água resfria-a e, o ar em movimento gerado pelo ventilador mecânico transporta o ar mais fresco para dentro do ambiente. Este mecanismo, contudo, só funciona em ambientes secos, pois em locais onde a humidade relativa já é elevada não ocorre a absorção da água no ambiente onde se pretende ver resfriado.

II.3 – Sistemas de Controle de Temperatura a Ar (Sistemas de Condicionamento de Ar)

Sistemas de controle de temperatura a ar, por sua vez, não são tão silenciosos. Além disto, acabam por causar, em virtude da circulação forçada do ar, a indesejada distribuição e o espalhamento de sujidade e poeira. A depender do sistema adotado, seus dutos volumosos

acabam por tornar mais complexo seu planejamento e instalação dado o impacto visual que estes podem ter. Assim, escondê-los em tetos rebaixados e em grelhas distribuidoras, por vezes, acabam por ser as soluções mais utilizadas, contudo, em algumas situações este mecanismo acabaria por gerar um pé-direito muito baixo em alguns ambientes e, por conseguinte, uma sensação desconfortável e até de claustrofobia em casos mais severos, o que pode levar à opção de manter-se tais condutas à mostra.

Esta decisão, contudo, também não é de fácil solução, pois a escolha errada da forma destes dutos, seu material ou simplesmente do local de sua instalação pode afetar a estética do edifício.

No entanto, os sistemas a ar condicionado permitem maior domínio das condições de conforto, uma vez que possibilita o controlo não apenas da temperatura, mas também do volume de ar em circulação dentro do ambiente abastecido, especialmente em virtude de sua capacidade de misturar e redistribuir a corrente de ar nestas zonas³⁵.

Para os sistemas de controlo de temperatura por ar condicionado há basicamente dois sistemas: de ciclo de compressão e de ciclo de absorção, contudo, seja qual for o sistema utilizado, verdade é que este recorrerá sempre a uma fonte líquida, gasosa ou de vapor para seu eficaz funcionamento conforme se verá adiante³⁶.

II.3.1 – Sistemas de Ciclo de Compressão

O ciclo de compressão é o mais comumente encontrado. Consiste de um sistema onde um fluido de transmissão gasoso (normalmente utiliza-se o clorofluorcarbono) é comprimido e liquefeito, o que ocasiona o rápido aquecimento deste fluido que, uma vez quente, passa a percorrer uma serpentina de tubos de cobre.

Em pequenas dimensões esta tubagem fica localizada fora do edifício, de modo que a circulação de ar exterior, auxiliada por uma ventoinha ou ventilador, refrigera-as. Em grandes escalas, o calor produzido pela serpentina é absorvido por um fluxo constante de água que é injetado por sobre toda a tubulação. A água aquecida, por sua vez, é forçada para uma torre de refrigeração, geralmente localizada na cobertura do edifício, onde escoar de modo lento por sobre um sistema de treliça auxiliado por um ventilador, o que ocasiona a liberação de calor para o ar por meio de evaporação e convecção.

Uma vez que esta água quente perde o calor que absorvera do sistema de serpentinas mencionado, ela é bombeada de volta para repetir o fluxo de absorção de calor. O fluido de

³⁵ Vamos tratar aqui apenas de fluxos de ar não isotérmicos (ou seja, aqueles onde a temperatura do fluxo é diferente da temperatura do ambiente), uma vez que estamos a falar de condicionamento de ar com alteração de temperatura.

³⁶ O estudo da termodinâmica que se concentra nas propriedades da mistura entre ar/gás e água/vapor d'água para garantia de conforto térmico chama-se psicrometria (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 18).

transmissão, por sua vez, comprimido e resfriado mas ainda ligeiramente quente, é liberado por válvulas de expansão para dentro de outro percurso de serpentina onde, submetido a uma pressão inferior, ao passar do estado líquido para o estado gasoso, torna-se muito frio. Uma vez completa a vaporização, o fluido de transmissão é levado de volta ao compressor para reiniciar o ciclo.

Assim, a água ou o ar é resfriado ao circular, e é distribuído para o interior do edifício, aonde absorve o calor lá existente (seja ele proveniente de radiação solar, seja em virtude da radiação de nossos corpos, nossas atividades, seja em virtude do maquinário lá existente que igualmente produz este calor indesejado, etc), transportando-o pelo ar até retornar para um novo ciclo de resfriamento.

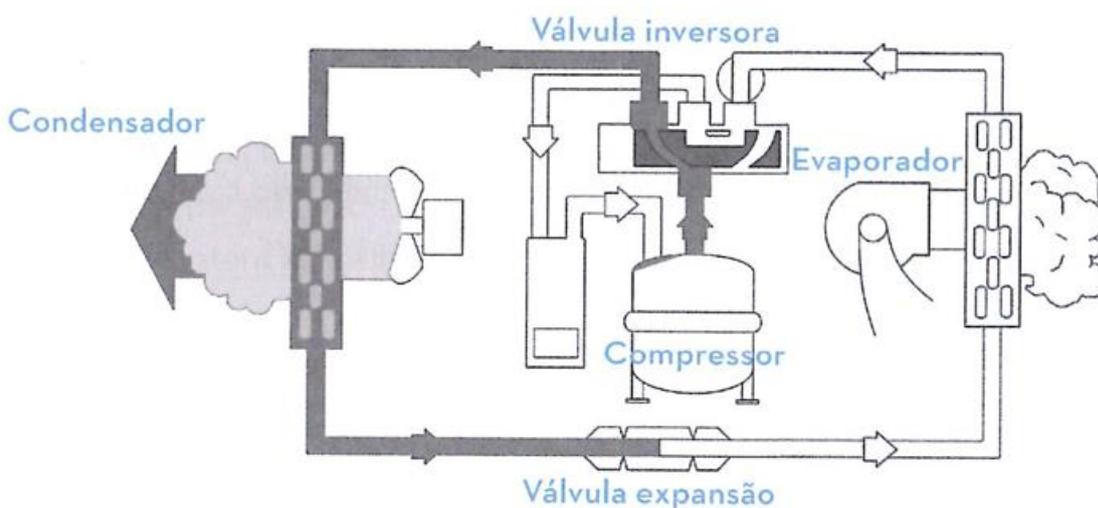


Figura 18 – Modelo esquemático dos ciclos de compressão. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 113).

Estes tipos de *sistemas de fluxo não isotérmico* são instalados junto ao teto do local a ser condicionado (fluxo horizontal), ou próximo ao solo junto às paredes (fluxo vertical), de modo a criar uma difusão de ar por mistura, onde o ar comprimido é injetado no espaço com velocidade suficiente para se misturar com o ar ambiente até o ponto de extração.

Outros métodos menos usuais de difusão de ar são o método por *fluxo laminar* e *por deslocamento*.

O primeiro consiste na instalação de conjuntos de ar retilíneos e paralelos entre si com velocidade semelhante, localizados, de um lado do ambiente a insuflação, e no oposto a extração do ar misturado. Este sistema, por ser muito caro, é mais comumente utilizado em hospitais e laboratórios, onde a renovação permanente do ar é necessária.

Já o *sistema de difusão por deslocamento* caracteriza-se pela injeção de um caudal de ar pelo solo em velocidades baixas, sendo o ar misturado extraído em uma zona superior. É o caso, por exemplo de teatros e auditórios, uma vez que seu índice de ruído é o mais baixo dos três métodos apresentados.



Figura 19 – Modelo de sistema de difusão por deslocamento. Da esquerda para a direita: 1) túnel de deslocamento de ar com tubos de abastecimento nas laterais; 2) grelha de saída de ar na parte superior do túnel e com saída pelo piso acima; 3) grelhas de saída de ar no piso d auditório; 4) grelhas de saída semicultas no piso sob os assentos. Auditório da Escola Secundária Quinta das Flores – Conservatório de Música de Coimbra, Arquiteto José Paulo dos Santos. Fotos do autor.

Dado a diversidade de modos de sistemas de compressão, há igualmente uma grande quantidade de modos de fazê-los operar.

Um destes é o *sistema de volume de ar constante* (VAC), onde as serpentinas de aquecimento ou arrefecimento são acionadas quando o termostato programado acusa uma temperatura inferior ou superior àquela desejada pelo seu programador.

Em edifícios de grande escala, nos dutos de ventilação há válvulas chamadas borboletas, controladas eletronicamente, que esvaziam um percentual do ar que vem do resfriador (normalmente um *chiller*³⁷) em cada um dos ambientes abastecidos, e as condutas de retorno recebem quantidade equivalente do ar pré-existente nestes ambientes com objetivo de circular o ar e ventilar todo o edifício.

O problema deste sistema é que eles são comumente controlados por um único termostato, o que gera sua ineficiência em gerir de modo equânime a temperatura em todos os ambientes abarcados por esta central de resfriamento uma vez que diferentes ambientes possuem

³⁷ Elemento que melhor será explicado e explorado à diante.

fatores variáveis de radiação os quais influenciam a temperatura no local como, por exemplo, fluxo de pessoas, maquinários distintos, incidência de sol, etc.

Uma das maneiras de solucionar esta questão é a instalação de sistemas com termostatos distintos dentro de um mesmo edifício, com objetivo de atingir um melhor conforto térmico.

Outro destes sistemas de compressão é o de *volume de ar variável* (VAV), o qual permite uma individualização do controle da temperatura maior e mais eficiente que ao anteriormente apresentado. Seus funcionamentos são praticamente idênticos, sendo a grande diferença a capacidade de refrigerar cada ambiente com um termostato próprio, o qual conta com seu próprio mecanismo de válvula borboleta para melhor controle de entrada e saída de ar, mas o ventilador, as serpentinas, a tubulação e os dutos são idênticos ao de um sistema VAC.

O sistema mais comumente utilizado é conhecido como AVAC – *aquecimento, ventilação e ar-condicionado*, também chamado HVAC (*heating ventilation and air condition*), e, em virtude de sua multiplicidade e de sua vasta aplicação da indústria, ser-lhe-á dedicada uma secção própria.

II.3.1.1 – Sistemas de AVAC

Os sistemas AVAC são compostos por diversas máquinas e, em virtude disto, recebem uma classificação própria, sendo a mais comum baseada no fluido térmico que circula em seus mecanismos.

Deste modo, quando “*o fluido é um refrigerante primário, que muda o seu estado físico, absorvendo ou rejeitando calor do espaço a climatizar*” (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 111), este será chamado de *sistema tudo refrigerante*. Quando o fluido que percorre seu sistema é o ar chamar-se-á *sistema de tudo ar*; quando for água: *sistema tudo água*; e quando uma mistura entre água e ar, *sistema de ar-água*.

Outra classificação consiste na composição e localização das unidades que produzirão a climatização. Assim, quando são compostos por sistemas de produção própria de frio ou de calor, e contém os elementos necessários para o tratamento do ar são denominados *autónomos*, enquanto, quando possuem estes componentes separados, estando em uma máquina fora do local a climatizar a produção do ar frio ou quente e, no mesmo local um outro equipamento, denomina-se *sistema centralizado*.

Estes últimos acabam por desempenhar funções bem definidas nos locais onde são instalados, pois um equipamento produzirá frio, outro calor e outros incorporarão ambas as funções (*sistemas centralizados mistos*), e outro elemento servirá para injetar e remover ar do ambiente a ser climatizado. Estes costumam ter, em resumo, quatro grupos de componentes: central térmica; equipamentos intermédios; terminais; e equipamentos de controlo³⁸.

³⁸ (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 112).

Sistemas autónomos podem ser tudo ar ou tudo água. O primeiro tipo pode ter suas máquinas instaladas tanto no exterior quanto no interior, hipótese na qual far-se-á chegar ar por meio de um sistema de condutas. Já os sistemas tudo água dependem de uma torre de arrefecimento, onde um circuito fechado de água transportará o calor desde o condensador até a torre.

Dentre estes equipamentos autónomos, destacam-se os sistemas de janela, sistemas de *split/multisplit* e unidades de tipo comercial *rooftop*.

Quanto aos primeiros, estes são formados por caixas encerradas que contém em seu interior todo o circuito refrigerante, o sistema de ventilação para a movimentação do ar tanto pelo lado condensador quanto o evaporador, além dos filtros de ar associados a cada uma das funções. Sua parte frontal conta com um conjunto de comandos, termostato e grelha para troca de ar. Os condensadores utilizados por este tipo de sistema são mais comumente integrados numa estrutura única e do tipo herméticos alternativos, com evaporadores e condensadores que utilizam sistema de serpentinas em tubos de cobre com aletas para permitir as trocas de ar. Já os segundos, constituídos de sistemas de *unidades de ventilação individuais de split e/ou multisplit* são constituídos por uma máquina com duas unidades distintas separadas por uma tubagem por onde circulam os fluidos refrigerantes e os cabos de interligação elétricas, daí a razão de não serem considerados sistemas centralizados, pois, apesar de parecerem duas máquinas independentes, estas, em verdade, constituem uma única máquina com duas unidades, portanto autónomos. Assim, a unidade exterior contém o compressor e o condensador, enquanto a interior conta com o termostato, evaporador e os filtros de ar a ele associados. São normalmente controlados remotamente e é o tipo de sistema mais comumente encontrados em residências.

LEGENDA DA FIGURA

1. Estrutura do painel frontal
2. Painel frontal
3. Filtro de ar
4. Grelha do fluxo de ar horizontal
5. Defletor do fluxo de ar vertical
6. Sensor de temperatura do ar do espaço
7. Painel de display
8. Recetor de sinal infravermelho
9. Controlo remoto
10. Mangueira de drenagem, tubagem de ligação do refrigerante
11. Cabo de ligação
12. Válvula de corte

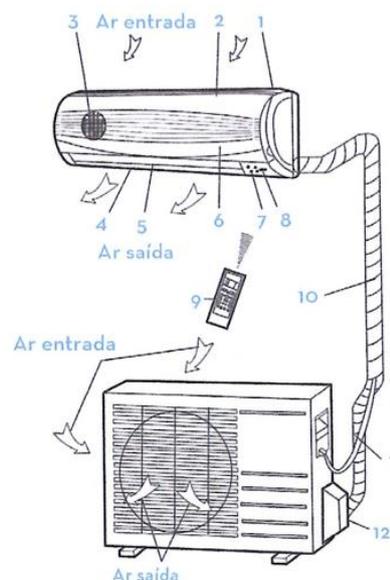


Figura 20 – Modelo de sistema de unidades de ventilação individuais tipo split. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 122).

O terceiro tipo, sistemas de *rooftop* para o exterior foram inicialmente desenvolvidos para estruturas comerciais como supermercados, centros comerciais e edifícios de escritórios por exemplo³⁹, têm uma composição semelhante aos sistemas de *split* e *multisplit* e contam com máquinas compactas para o condicionamento do ar por compressão envolvidos em caixas metálicas capazes de resistir às intempéries do tempo. Já a unidade interior pode ser do tipo horizontal ou vertical e fazem a troca de calor com o ambiente e a máquina exterior por meio de condutas através de um sistema de bomba de calor.

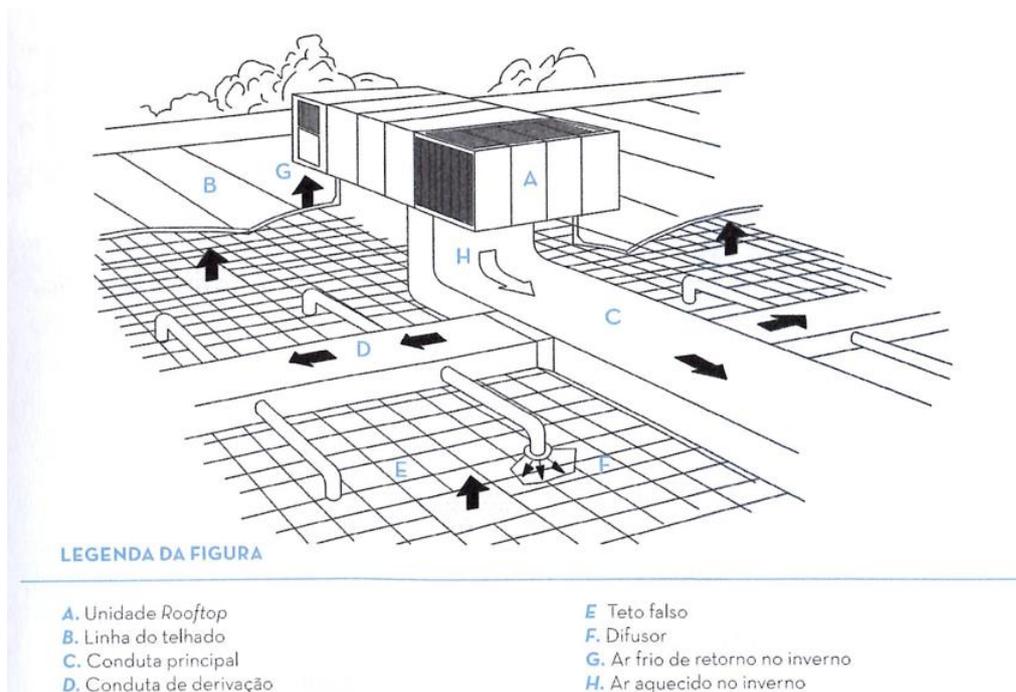


Figura 21 – Sistema de Rooftop e condutas. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 131).

Já os *equipamentos de central térmica (sistemas centralizados)* mais utilizados são *chillers*, *bombas de calor* e *UTA's (Unidades de tratamento de ar)*.

O sistemas de *chiller* consistem de “*uma estrutura única onde está integrado todo o circuito de produção de frio, podendo ou não ter circuito hidráulico onde circula um caudal de água que vai ser arrefecida ou aquecida na máquina*” (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 132), o referido caudal de água é abastecido diretamente por circuitos hidráulicos responsáveis por interligar os diversos equipamentos de tratamento de ar e podem ser do tipo *tudo água*, ou *água-ar*.

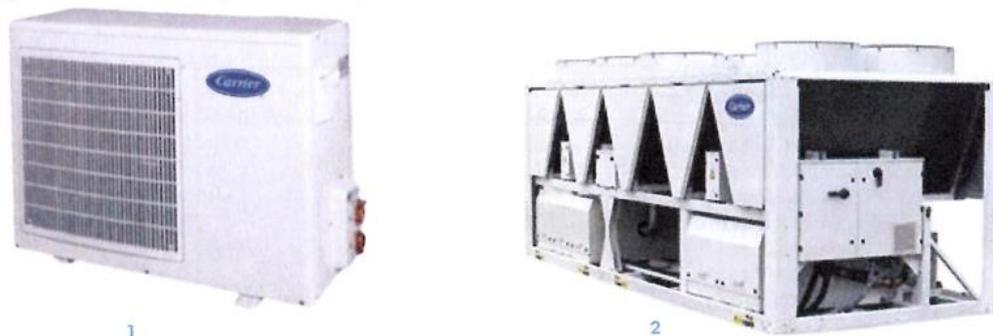
A depender do clima e da necessidade o sistema pode-se recorrer a substâncias salinas com baixo ponto de congelação a fim de garantir melhor desempenho e eficiência.

³⁹ (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 129).

Seu funcionamento dá-se pela compressão de vapor de água, ou de vapor de água e ar (a depender do sistema), que, juntamente com um fluido refrigerante, percorrem um circuito munido de filtro de refrigerante, ventiladores, dispositivo de expansão e evaporador.

No tocante ao sistema de aquecimento, estes podem recorrer à água, ao ambiente exterior ou ao solo a energia necessária para a produção do calor. Seu funcionamento dá-se com a inversão do sistema de ciclo de arrefecimento, de forma a aproveitar o calor rejeitado no condensador, somado à parcela de energia que é removida pelo evaporador ao ambiente externo, à fonte de água ou ao solo para a introdução de calor no ambiente que se quer ver condicionado.

O fluido que sai do compressor é encaminhado para uma válvula inversora e, em seguida para uma válvula de aspiração, de onde é encaminhado para a unidade interior para a entrega do calor. Uma vez na unidade interior, o fluido, em estado líquido, retorna à válvula de serviço, onde é tratado por um filtro secador para retirada de impurezas e possíveis humidades, retornando à válvula de expansão.



1

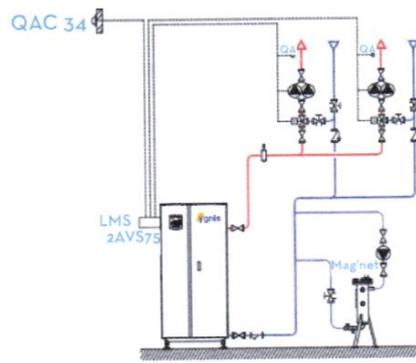
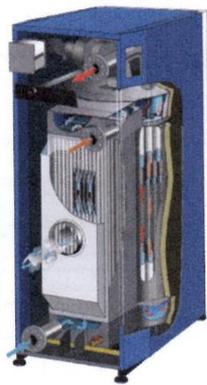
LEGENDA DA FIGURA

1. Baixas potências de frio, com compressor scroll

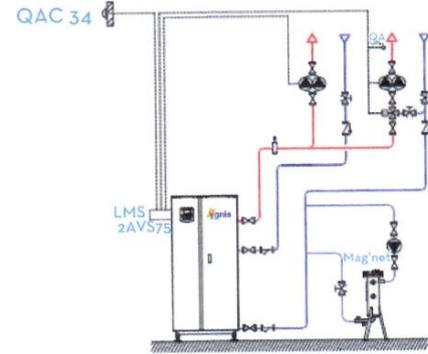
2. Altas potências de frio com compressor de parafuso

Figura 22 – Modelos de sistemas de Chiller água-ar. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 133).

Os sistemas de *caldeiras* também são comuns para a produção de calor. Funcionam a partir do uso de um sistema de combustão externa que, a partir da queima de um combustível, libera calor e gases, aquecendo a água, ou outro fluido para circulação em sistemas de ar condicionado para ambientes a partir do aproveitamento da água quente que sai das caldeiras, a qual circulará de forma comprimida pelas unidades de tratamento de ar, ou pelas próprias unidades termais, de modo a aquecer o ar e retornar o ar frio para a unidade. Pode ser utilizado, também, para outros fins, como aquecimento de piscinas, ou produção de vapor para geração de energia elétrica.



Ligação com duas tomadas



Ligação com três tomadas

Figura 23 – Modelo de caldeira com duas ou três saídas e esquema de princípio de funcionamento de caldeira de condensação com duas e três ligações. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 151).

Sistemas de Unidades de Tratamento de Ar (UTA), por sua vez, são constituídas por vários equipamentos agrupados em sequência sendo, assim, um aglomerado destas distintas máquinas anteriormente apresentadas em uma única unidade que pode incluir ventiladores, bombas, baterias de aquecimento, baterias de arrefecimento, lavador de ar ou injetores, caixa de mistura, recuperador de calor, válvulas e controlo.

Todos estes ficam agrupados num módulo único com porta, que garante uma abertura rápida e fácil para a realização da manutenção do equipamento.

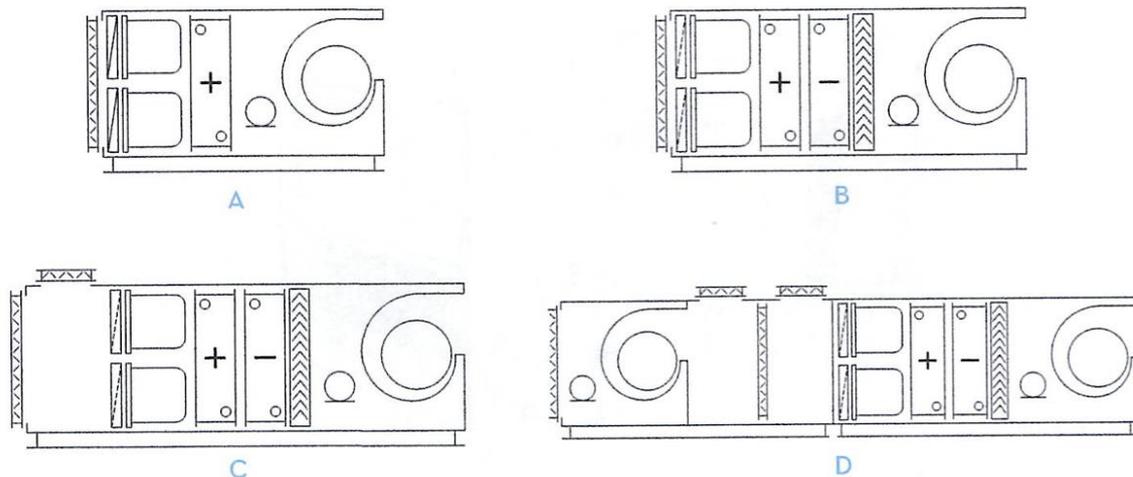
Dado o número de funções e, conseqüentemente, máquinas que possam estar inseridas numa UTA, esta pode acabar por ocupar um espaço demasiadamente grande e, por conseguinte, para evitar tal situação (que, por vezes pode restar inviabilizada pelo espaço disponível para sua instalação), elas podem ser lineares, em “L”, ou conter mais de um estágio/andar.

Mais comumente UTAs com dois níveis são aquelas que contam com sistemas de recuperação e de dupla conduta.

Em vista do agrupamento de equipamentos a ela acoplados, uma UTA pode garantir conforto térmico, por permitir a dupla função de aquecimento e arrefecimento; boa humidade relativa, pois garante a extração do excesso de vapor quando este está presente e, no caso oposto, insufla vapores até os índices desejáveis de conforto; além de boa qualidade do ar ao permitir renovação e filtração constantes.

A forma de aquecimento e de arrefecimento é geralmente obtida utilizando a água com fluido térmico: água quente circulando numa bateria de aquecimento (um permutador de calor), água refrigerada circulando numa bateria de arrefecimento (um permutador de calor)” (Roriz, 2007, p. 320).

A filtração do ar poderá ser feita a partir de um ou mais filtros a depender da escolha dos engenheiros responsáveis para a garantia da boa QAI e do atendimento das necessidades legais e do programa, além da esterilização do ar por meio de lâmpadas *ultravioletas* (UV).



LEGENDA DA FIGURA

- A.** Com registo de ar, filtros, bateria de aquecimento, ventilador de insuflação
- B.** Com registo de ar, filtros, bateria de aquecimento e de arrefecimento, ventilador de insuflação
- C.** Com registos de ar, secção de mistura, filtros, bateria de aquecimento e de arrefecimento, ventilador de insuflação
- D.** Sistema com combinação de módulo de insuflação de retorno com registos e zonas de mistura

Figura 24 – Modelo de UTA. Fonte: (Santos, AVAC, um manual de apoio - Fundamentos, 2021, p. 156).

Uma vez esgotados os mecanismos de compressão, passa-se para os demais sistemas de condicionamento de ar.

II.3.2 – Sistemas de Ciclo de Absorção

Já o sistema de ciclo de absorção, menos comum que o anterior, consiste do uso de uma solução concentrada de produto químico higroscópico (normalmente utiliza-se o brometo de lítio salino) que absorve água, de modo a fazer com que ela evapore a partir de um recipiente. A água remanescente no recipiente de evaporação torna-se muito fria como resultado desta reação química provocada pela solução salina concentrada. A água fria, portanto, passa a circular arrefecendo os ambientes onde se pretenda a ação deste método de resfriamento. A solução salina, por sua vez, precisa ser constantemente extraída do absorvedor e reconcentrada por meio de fervura (normalmente utiliza-se chama alimentada por gás ou óleo, ou até mesmo vapor para garantir este ponto de ebulição do concentrado químico) antes de ser devolvida ao recipiente absorvedor para reiniciar o ciclo. A água evaporada na fervura é levada a um condensador, onde, uma vez liquefeita, é devolvida ao condensador para reiniciar o processo.

II.3.3 – Elementos Comuns aos Ciclos de Compressão e Absorção

Ambos sistemas acima descritos são úteis tanto para aquecer como para arrefecer o ambiente, sendo que, para a segunda opção, é necessário auxílio de uma bomba de calor que auxilia no transporte do ar quente para dentro do ambiente que se pretenda ver aquecido.

Quando estamos diante da situação de resfriamento, cabe recordar que tal processo muito provavelmente ocasionará a acumulação de humidade condensada junto às serpentinas tal como anteriormente descrito, razão pela qual estes sistemas contam com um recipiente de coleta da água condensada e do gotejamento causado por este processo. Esta água, por sua vez, é removida por meio de drenos.

Alguns sistemas, para evitar o aumento da humidade relativa do ar, ocasionam a mistura do ar frio produzido com o ar mais quente do interior do edifício. Outros, onde o controle das humidades precisa ser mais rigoroso, o ar frio e, portanto, húmido, pode ser conduzido por uma serpentina de aquecimento, com o objetivo de aumentar ligeiramente sua temperatura, e, ato contínuo, reduzir sua humidade antes que o ar arrefecido seja bombeado para dentro do ambiente a ser refrigerado.

Outra questão consiste no controle da humidade do ar em ambientes aquecidos mecanicamente. Isto porque o ar aquecido tende a tornar-se demasiadamente seco a ponto de, por exemplo, prejudicar a estrutura das madeiras, causando-lhes rachaduras. Além disto, aumenta a eletricidade estática no ar e pode causar problemas de saúde como, por exemplo, peles, lábios e olhos excessivamente secos, nariz, garganta e pulmões desidratados e, por consequência, mais suscetíveis a infeções. Estas situações, contudo, podem ser amenizadas com a introdução mecânica de humidade no ar o que, embora possa prejudicar um pouco o controle da temperatura, a perda térmica não é significativa, ainda mais se comparada aos benefícios de um ambiente com humidade mais bem controlada.

PARTE III
EDIFÍCIOS ANTIGOS, O CONFORTO TÉRMICO E A QUALIDADE
DO AR

Capítulo III – O Comportamento Térmico e a Qualidade do Ar em Edifícios Antigos

Uma vez delineados os princípios que permeiam o comportamento do calor e a reação do homem a ele, bem como da necessidade constante de renovação do ar para garantir a salubridade de seus utentes, bem como os métodos naturais e artificiais para o fazê-lo, cabe levar estes elementos ao caso prático deste estudo, ou seja, o comportamento térmico de edifícios antigos, e os mecanismos para melhorar estes elementos.

As paredes exteriores de edifícios antigos, via de regra, obedeciam a uma de duas regras: ou eram construídos com alvenarias de tijolo maciço, ou eram contruídos com alvenaria de pedra. Além disto, quando a referida estrutura não estava aparente no interior ou no exterior, seu acabamento poderia ser feito a partir de uma camada espessa de material tal como adobe, betão, ou reboco. Todos estes elementos construtivos possuem alta *capacidade térmica* o que normalmente ocasiona uma grande diferença de temperatura entre interior e exterior destes edificadros, pois a parede externa é aquecida pelo sol lentamente durante todo o dia, de tal modo que o calor penetra no seu material componente, primeiramente por radiação e, em seguida, por condução do lado mais exterior até a parte interior desta parede e, eventualmente, até o lado de dentro do edifício.

Em determinado ponto a parede atinge uma condição estável, e isto ocorre quando a temperatura do lado mais frio da parede é igual à temperatura do ar no interior do edifício, e a temperatura no seu lado externo equivale à temperatura do ar no seu exterior, formando um gradiente linear de variação de temperatura⁴⁰.

Então, quando ocorre a flutuação de temperatura do ar de um dos lados, estas paredes atuam no sentido de reduzir ou atrasar as flutuações de temperaturas no lado oposto.

Ou seja, na hipótese de um dia quente, o ar no exterior do edifício, combinado com o sol, aquecem a parede de fora para dentro de tal modo que o calor migra lentamente através do material da parede desde seu exterior até o interior. Contudo, antes que a maior parte deste calor seja capaz de penetrar as pesadas estruturas destas paredes com alvenaria de pedra ou tijolo maciço, acontece o pôr-do-sol e, conseqüentemente, a radiação do sol cessa, de modo que o ar arrefece rapidamente, assim como o próprio solo no exterior do edifício com o fim da incidência dos raios solares.

⁴⁰ Por estarmos diante de materiais com alta capacidade térmica, e estes caracterizam-se por suas baixas resistências térmicas, esta taxa é significativamente rápida se comparada com as paredes atuais que contam com isolamentos.

Deste modo, grande parte do calor que se acumulou lentamente durante o dia nestas paredes acaba por sofrer um impacto grande e precisa libertar-se para o seu exterior, ao invés de continuar seu processo migratório para o interior do edifício.

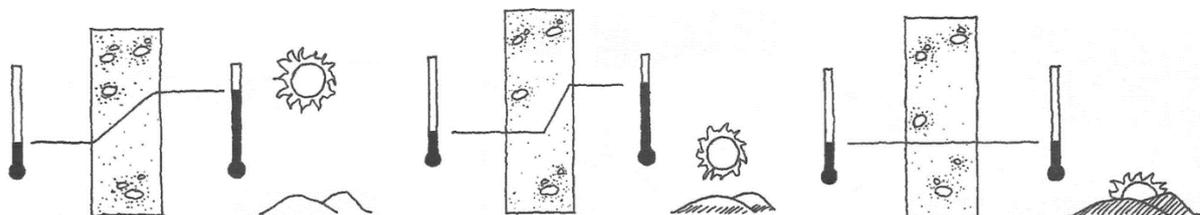


Figura 25 – Comportamento térmico das paredes dos edifícios expostos à radiação solar. Fonte: (Allen, 2016, p. 63).

Portanto, estas construções, em verdade, possuem uma menor variação térmica no decorrer do dia devido à sua estrutura exterior, e a consequência deste processo é que o interior destes edifícios antigos, via de regra são mais frios que seu exterior durante o dia e mais quentes durante a noite, uma grande mais-valia à sua qualidade térmica⁴¹, sem, contudo, garantir que o conforto seja alcançado.

Quanto à qualidade do ar, não havia maneira de a garantir, pois, como na época não havia recursos mecânicos para a renovação do ar, esta fazia-se, basicamente, de duas maneiras, por meio dos vãos (janelas e portas), as quais precisariam ser abertas frequentemente, o que, a depender da temperatura exterior do edifício, poderia resultar numa piora no conforto térmico, ou por chaminés⁴².

Além disso, como não havia tecnologia de impermeabilizantes de paredes e solos, muito frequentemente as construções sofriam com infiltrações, seja por capilaridade do solo, seja por humidade exterior e interior acumulada nas paredes, lajes e coberturas destes edifícios, tudo o que contribuía para uma piora na QAI.

Além destes, os vapores e fumos causados pelo aquecimento da lareira e pelo ato de cozinhar (a lenha ou carvão) igualmente prejudicavam a qualidade do ar.

Todas estas questões levavam à uma necessidade constante de manter-se os vãos abertos para permitir-se a circulação do ar o que, como dito, poderia resultar numa piora da qualidade térmica nestes ambientes.

⁴¹ (Allen, 2016, pp. 63-64).

⁴² Muito embora chaminés tenham sido primordialmente projetadas para escoar gases e fumos danosos, fato é que, por se tratar de vãos, este elemento acaba por garantir, também, a troca do ar no interior do edifício devido à pressão do ar no interior dos ambientes.

Capítulo IV – A Reabilitação de Edifícios Antigos e a Melhoria da Qualidade do Ar e do Conforto Térmico

Edifícios antigos, como visto, não foram preparados para garantir conforto térmico a seus utentes, tendo sido tal conceito apenas recentemente introduzido no vocabulário de construção.

Por esta razão, Appleton nos lembra que:

“Importa salientar que as tarefas de dotar os edificios antigos com boas condições de isolamento térmico podem deparar-se com dificuldades acentuadas, relacionadas com características dos próprios edificios... impondo-se sempre uma análise, caso a caso, das situações consideradas” (Appleton, Reabilitação de edificios antigos - patologias e tecnologias de intervenção, 2003, p. 215).

Via de regra, a melhora das condições térmicas de edifícios históricos ou antigos requererá um tratamento de sua envolvente, o que significa, em outras palavras, um tratamento das paredes externas do edifício, das portas, das caixilharias, e das coberturas⁴³.

Quanto aos vãos, quatro são as hipóteses de intervenção.

Em primeiro lugar a substituição das portas e janelas por umas mais termicamente eficientes. Esta solução, contudo, descaracteriza por completo o edificado e possivelmente não será a melhor estratégia em muitos dos casos como, por exemplo, património classificado, onde estas mudanças “radicais” sequer são permitidas.

A segunda hipótese é o restauro utilizando técnicas tradicionais, o que, por sua vez, encontra barreira na dificuldade de mão de obra capaz de fazê-lo além de ser bastante menos eficiente termicamente.

A terceira hipótese consiste no restauro utilizando técnicas e materiais contemporâneos. Este método acaba por melhorar o desempenho térmico dos vãos sem afetar significativamente a imagem original do edifício.

⁴³ Appleton nos lembra que raros são os casos em que os pisos dos pavimentos térreos precisam também ser tratados para melhoria das qualidades de conforto térmico, e, comumente, dão-se quando estes pavimentos estão construídos sobre um sistema de caixas de ar, ou sobre passagens abertas (Appleton, Reabilitação de edificios antigos - patologias e tecnologias de intervenção, 2003, p. 215).

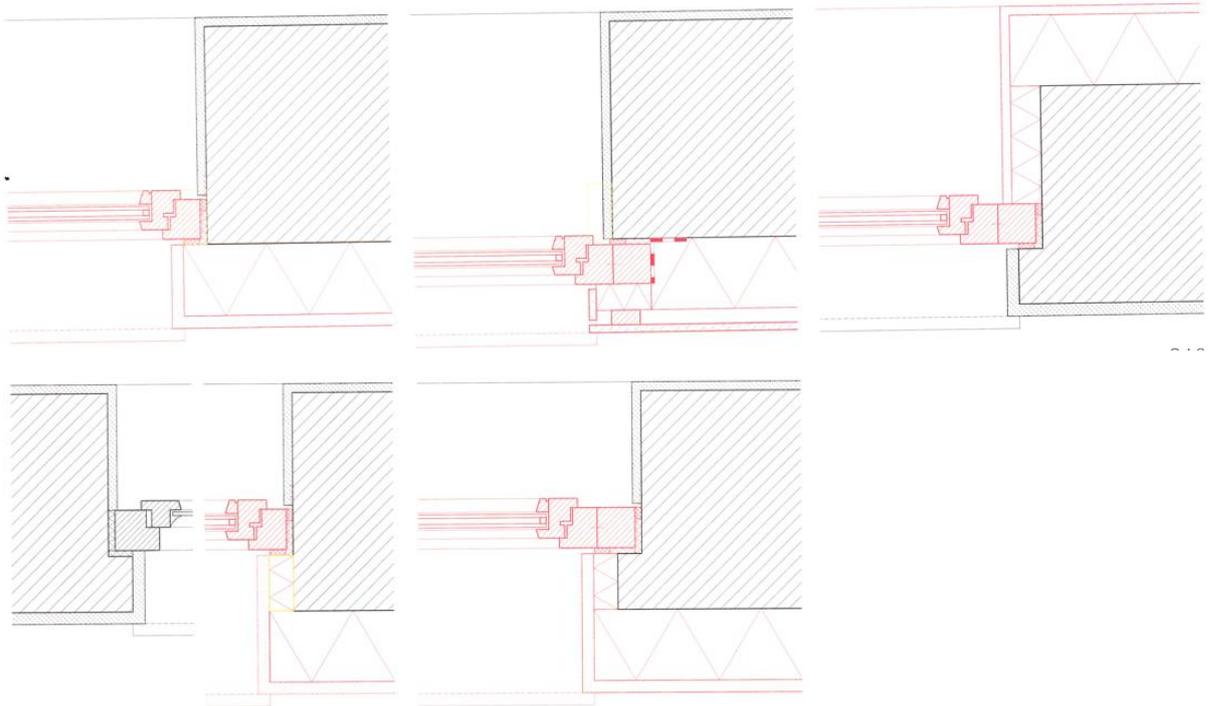


Figura 26 - Modelo de restauro de caixilharia. Fonte: (Giebler, et al., 2009, pp. 124-125).

A quarta e última hipótese consiste na introdução de uma segunda caixilharia interior, o que garante a identidade da construção em sua fachada exterior e uma melhoria térmica no seu interior.

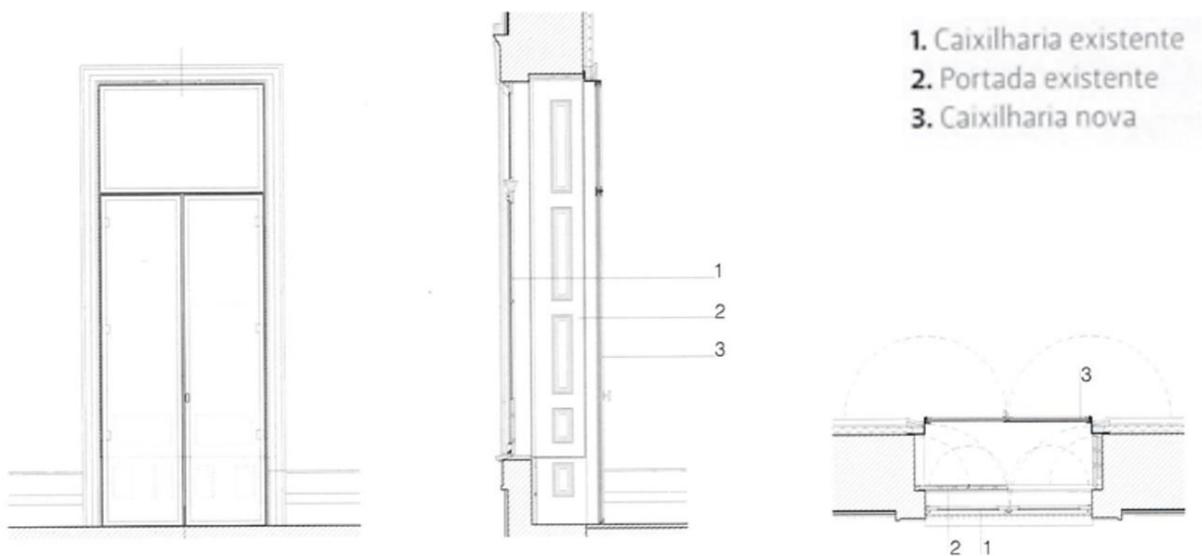


Figura 27 – Modelo de restauro de caixilharia com introdução de nova caixilharia pelo interior. Fonte: (Freitas, 2012, p. 266).

Para a melhoria da qualidade de isolamento a partir da cobertura, há que se notar, primeiramente, que dois são os tipos encontrados em edifícios antigos: coberturas de telhado e de terraço.

Quanto ao primeiro caso, as soluções variarão de acordo com a constituição da cobertura, e do aproveitamento que se dá ao espaço a ela adjacente, ou seja, o espaço existente entre a cobertura e o teto do piso a ele imediatamente inferior, o que, em outras palavras significa saber se a área de sótão é, ou não, habitável.

Há ainda casos em que não há teto, onde o piso inferior avista a estrutura do telhado que lhe cobre, quando pode-se avistar as telhas diretamente (menos comum), ou algum forro que as protejam e sirvam de base de apoio (mais comum).

Em quaisquer dos casos, as soluções são inúmeras, desde a colocação de mantas com materiais ou placas isolantes sobre o teto do último piso, à inclusão de placas rígidas ao nível da cobertura⁴⁴. O uso de barreiras de vapor é recomendável para evitar a acumulação e condensação dos vapores causados por mudanças de temperatura entre o interior e o exterior do edifício e o consequente aparecimento de pontes térmicas.

Eis abaixo alguns exemplos de intervenção possíveis.

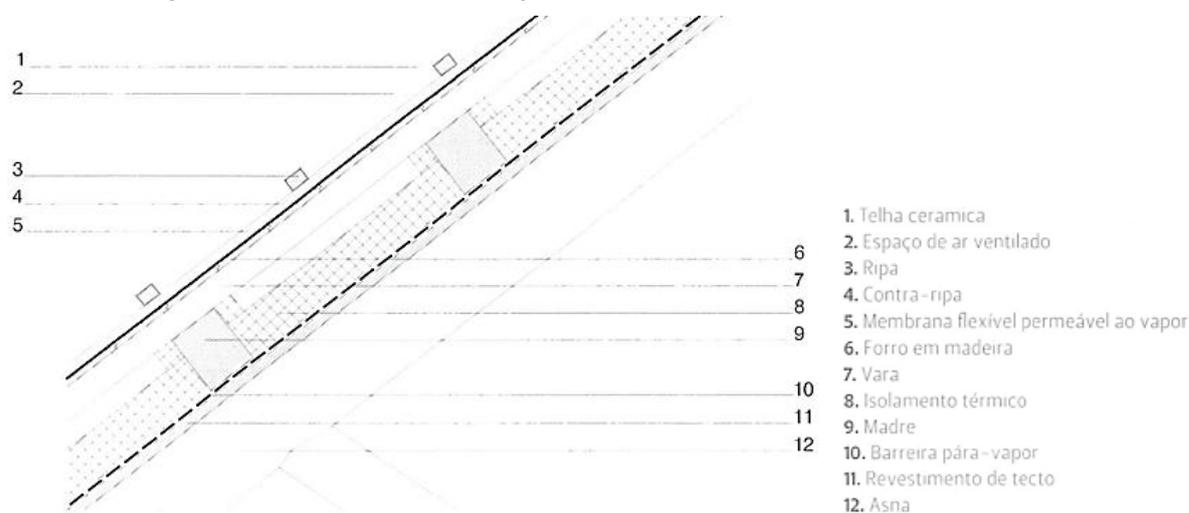


Figura 28 – Modelo de restauro de cobertura sem desvão. Fonte: (Freitas, 2012, p. 261).

⁴⁴ Pode-se citar como exemplo a lã de rocha ou de fibras de vidro, placas de poliestireno extrudido ou expandido, placas de cortiça, espuma de poliuretano, dentre outras.

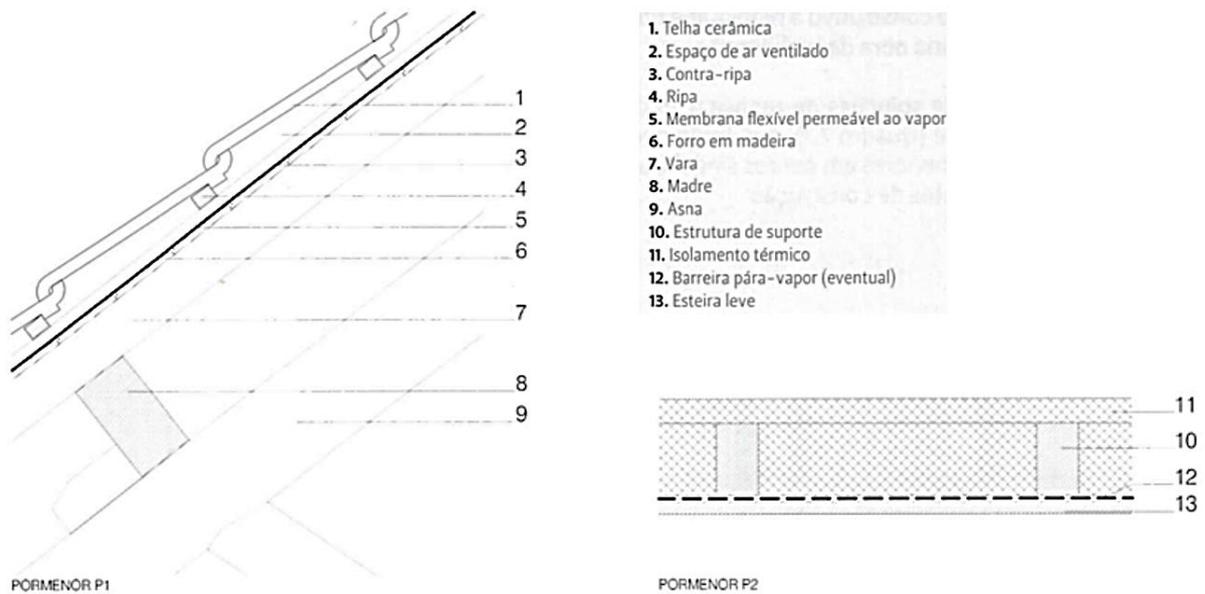


Figura 29 – Modelo de restauro de cobertura com desvão útil. Fonte: (Freitas, 2012, p. 260).

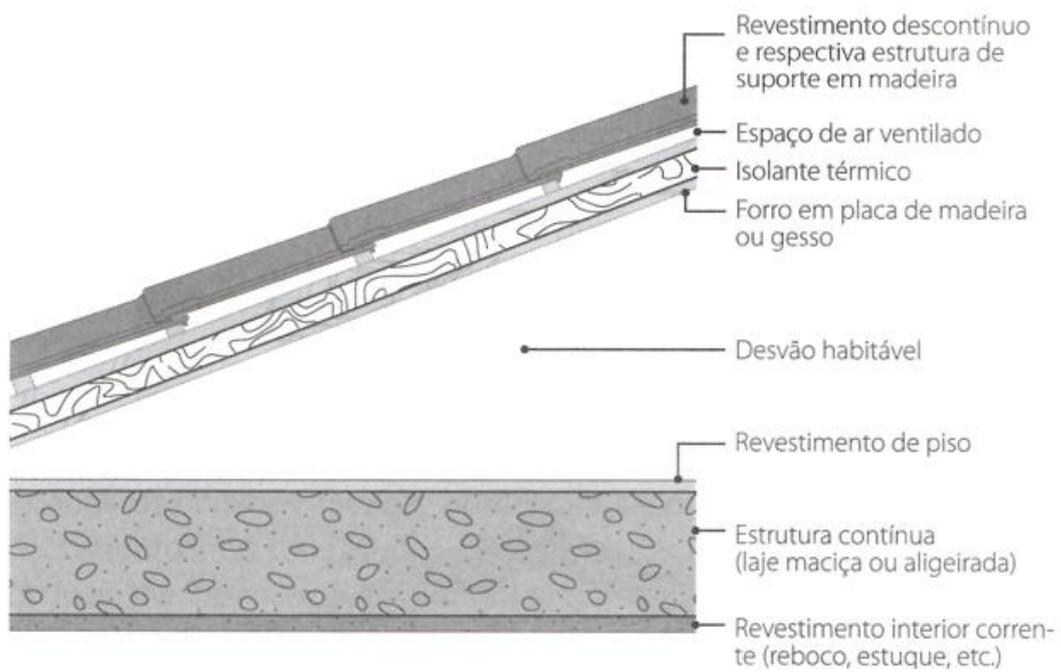


Figura 30 – Modelo de cobertura inclinada com desvão habitável. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 392).

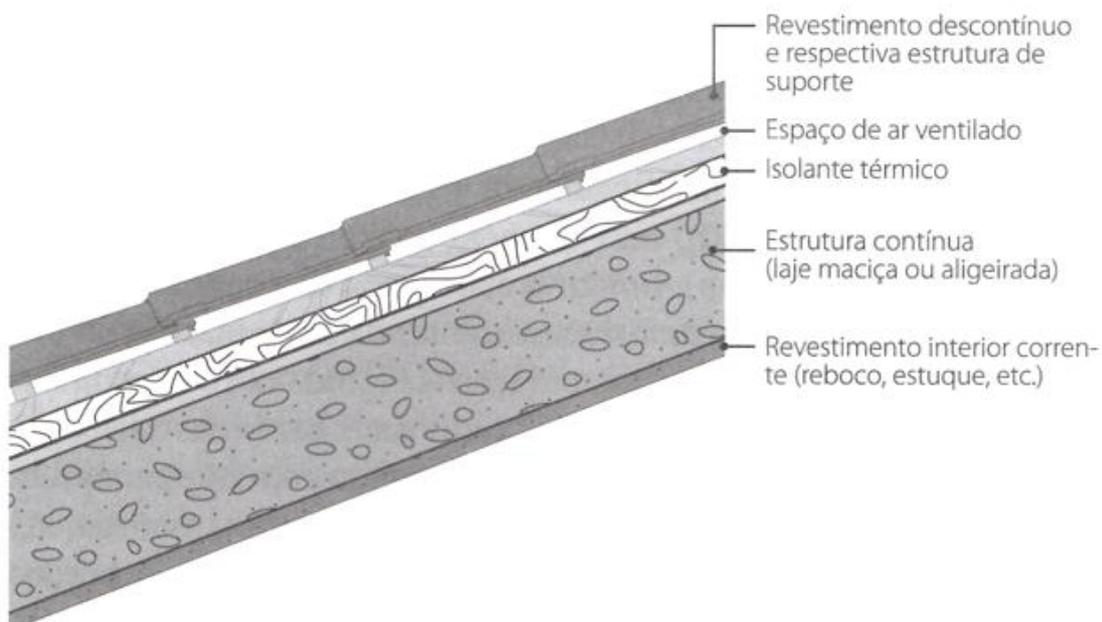


Figura 31 – Modelo de cobertura inclinada sem desvão habitável. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 392).

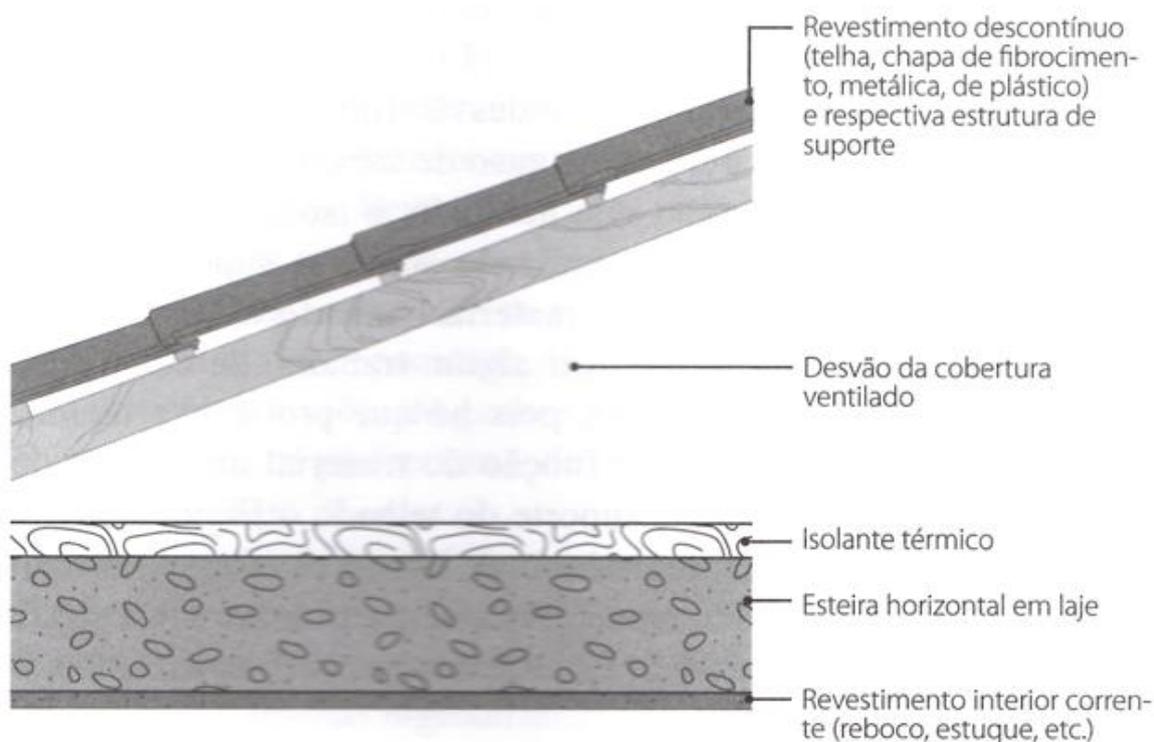


Figura 32 – Modelo de cobertura inclinada com desvão não habitável. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 392).

Já no tocante às coberturas de terraço, é necessário recorrer a placas isolantes térmicas ao nível do teto sob as mesmas, a fim de garantir um melhor desempenho térmico e energético, podendo fazer uso dos mesmos materiais propostos para as coberturas inclinadas, com a inclusão de um teto falso para ocultá-las, caso seja esta a opção.

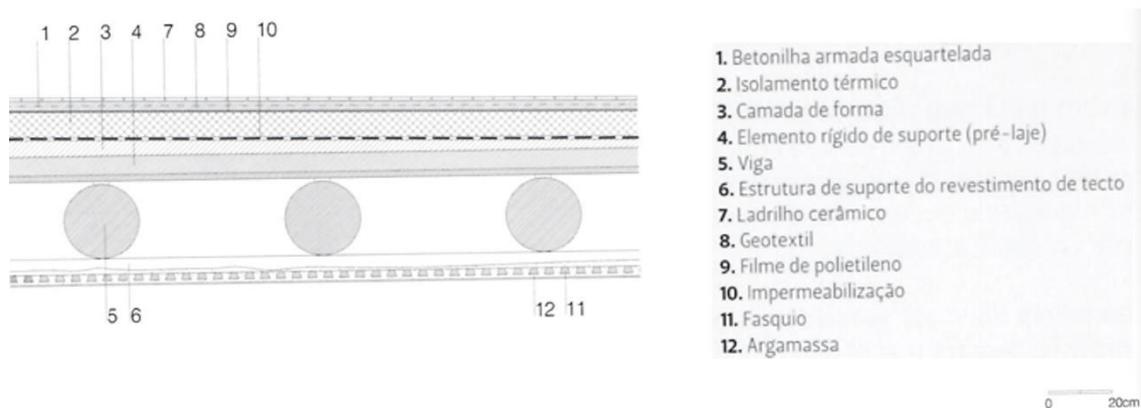


Figura 33 – Modelo de cobertura de terraço. Fonte: (Freitas, 2012, p. 262).

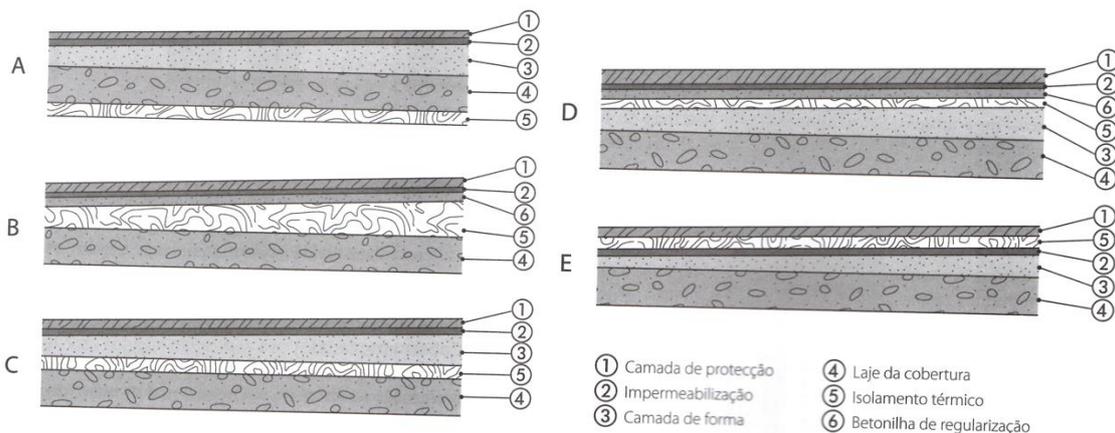


Figura 34 – Modelo de cobertura de terraço. Fonte: (Braga, Piedade, & Rodrigues, 2009, p. 384).

No que tange às paredes exteriores do edifício, o isolamento pode se dar ou pelo lado interno destas, ou em sua face externa,

Quando o isolamento é realizado pelo exterior do edifício podemos encontrar algumas vantagens, como a eliminação de pontes térmicas; a redução dos riscos de condensação intersticial no interior da parede; o aumento da resistência térmica das paredes isoladas; com maior capacidade para armazenamento de energia; e a ausência de perda de espaço no interior do edificado.

No entanto, intervenções na parte exterior do edificado nem sempre são possíveis porque implicariam em uma descaracterização completa de sua fachada. A alternativa é pela aplicação de uma camada de isolante térmico na parte interior das paredes externas. Dentre as vantagens deste método pode-se citar a referida manutenção da identidade do edifício em seu exterior; sua aplicação é mais fácil e não é afetada pelas condições climáticas; é uma medida mais económica por ser de mais simples execução; elimina a condensação superficial.

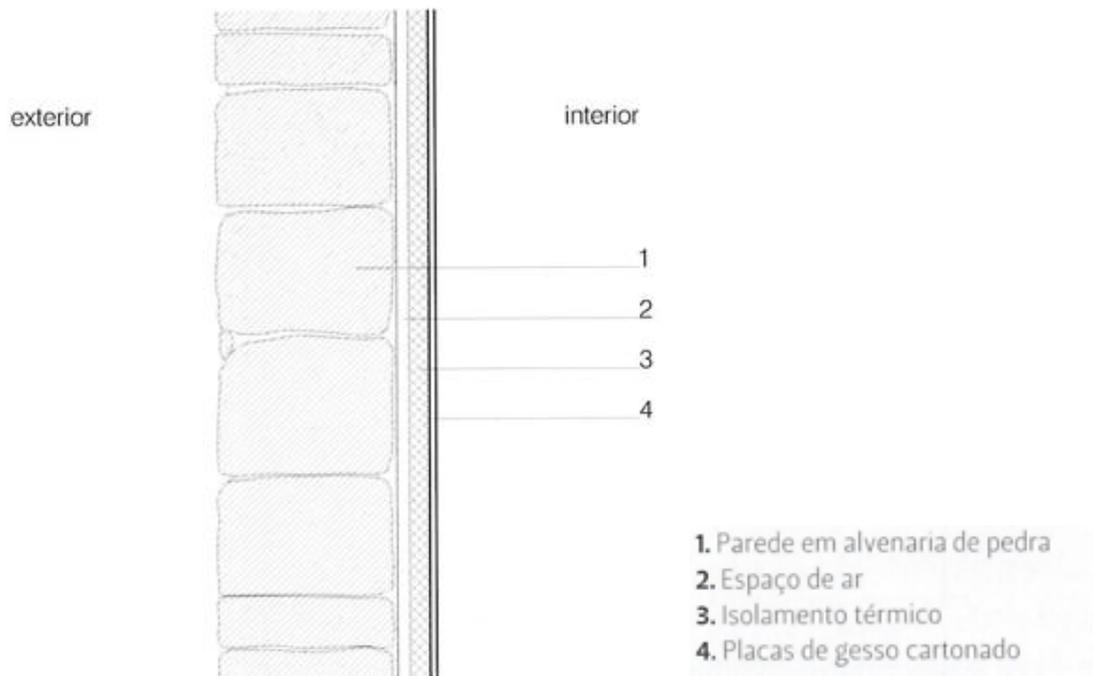


Figura 35 – Modelo de restauro de parede com isolamento pelo interior. Fonte: (Freitas, 2012, p. 263).

Contudo, este tipo de solução implica numa redução, ainda que pequena, do interior dos ambientes, além de não eliminar pontes térmicas e restringir o normal funcionamento do edifício durante sua aplicação, o que não ocorre quando o isolamento é posto na parte externa.

Quando os edifícios são dotados de caixa de ar, a injeção de um enchimento com isolante térmico neste vão das paredes duplas também é eficiente para melhorar a inércia e o isolamento térmicos. Esta opção, contudo, é a mais rara, uma vez que este tipo de edifício já é mais recente e remonta à transição para as construções modernas à base de cimento e betão (Appleton, Reabilitação de edifícios antigos - patologias e tecnologias de intervenção, 2003, p. 216). Pode-se também, ao “desmontar” a fachada, criar isolamento térmico na face exterior da parede, e “remontar” a fachada de modo a cobrir a intervenção realizada e manter a identidade do edifício.

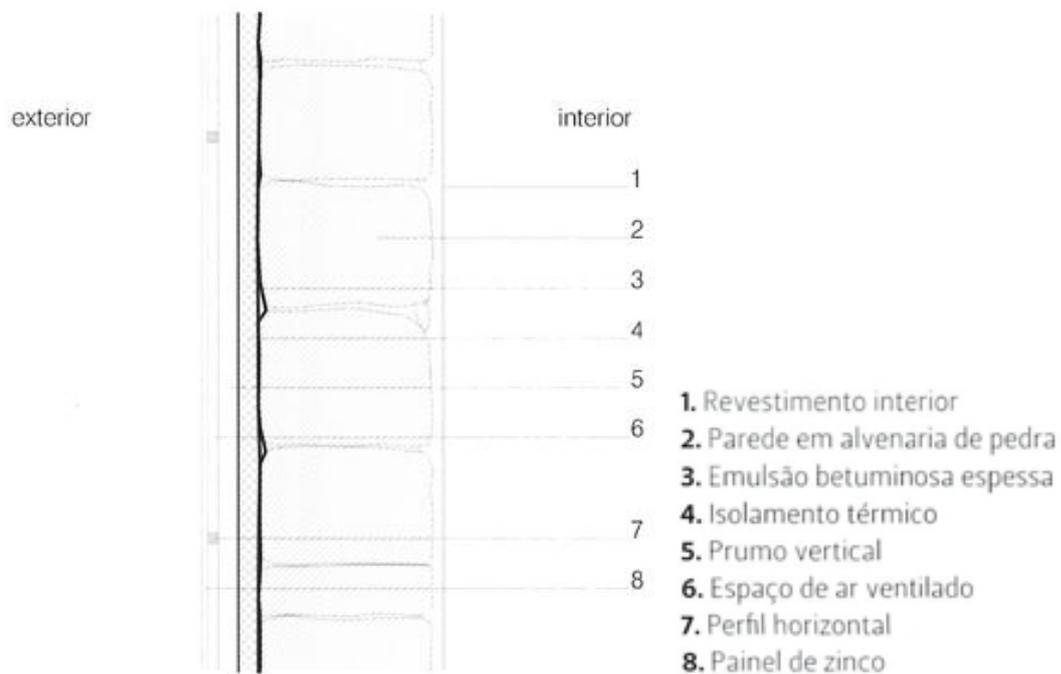


Figura 36 – Modelo de restauro de parede com fachada ventilada. Fonte: (Freitas, 2012, p. 263).

O quadro abaixo, fornecido por João Appleton⁴⁵ ajuda-nos a percebermos alguns métodos eficazes para melhorar o isolamento térmico em edifícios antigos.

⁴⁵ (Appleton, Reabilitação de edifícios antigos - patologias e tecnologias de intervenção, 2003, p. 217)

Localização do isolamento térmico	Tipos de soluções	
Exterior	Revestimentos não isolantes independentes (com interposição de um isolante térmico no espaço do ar).	Revestimentos descontínuos (elementos fixados mecanicamente).
		Revestimentos contínuos de ligantes hidráulicos armados.
	Revestimentos aplicados sobre isolante. (1)	Revestimentos espessos de ligantes hidráulicos armados.
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados.
	Revestimentos isolantes. (1)	Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente) (2).
		Revestimentos de ligantes hidráulicos e inerte de material isolante.
Revestimentos de espuma isolante projectada e expandida em obra.		
Interior	Paineis isolantes (em geral com altura de andar) colados contra a fachada.	
	Contra-fachadas de alvenaria ou de outra constituição.	Com caixa de ar simples.
		Com interposição de um isolante térmico e sem caixa de ar.
		Com interposição de um isolante térmico e com caixa de ar.
Revestimentos reflectores (3).		
Na caixa de ar (em paredes duplas)	Injecção de produtos a granel.	Fibras ou flocos de lã mineral.
		Granulado de poliestireno expandido.
		Outros granulados (de argila ou perlite expandida, etc.).
	Injecção de espumas isolantes (expandidas em obra).	Espuma de poliuretano. Espuma de ureia-formaldeído.

Figura 37 – Tabela de solução de isolamento térmico de paredes. Fonte: (Appleton, *Reabilitação de edifícios antigos - patologias e tecnologias de intervenção*, 2003, p. 217).

Fato é que a reabilitação de um edifício sempre é um desafio ao arquiteto uma vez que “*toda a intervenção implica uma mudança*” (Alarcão, 2018, p. 50). Quando esta renovação importa numa alteração da função do edifício a complexidade aumenta devido à natureza, não apenas da atualização da construção para que ela atenda a novos padrões de segurança, conforto e utilização⁴⁶, como também da necessidade de adaptação do edificado a um programa muitas vezes completamente diverso daquele para o qual foi originalmente projetado.

⁴⁶ Refiro-me à inclusão de isolamento térmico e acústico, introdução de instalações sanitárias mais adequadas e que atendam melhor ao edifício, às novas necessidades de sistemas elétricos e de iluminação que não haviam sido pensados ou mesmo imaginados quando da construção deste edificado a ser renovado, além, claro, dos sistemas de renovação e condicionamento de ar, estes últimos sendo os objetos deste estudo.

Neste sentido, a introdução de elementos que sequer existiam quando estes foram concebidos ou projetados, como é o caso da introdução de meios mecânicos para a garantia de conforto térmico e qualidade de ar, acaba, por vezes, a tornar-se um estorvo ao edifício quando não são bem pensados⁴⁷.

Assim, a opção pela manutenção das características ou da linguagem original do edifício, ou sua alteração completa para uma modernização radical comumente é o grande dilema que envolve a necessidade de introdução destes elementos novos, o que leva muitos arquitetos a inconscientemente adotar a segunda opção por ser a “saída mais fácil”, o que acaba por retirar a identidade da construção e (podemos assim dizer) arruinar o trabalho de restauração.

Sobre a questão bem nos lembra María Afonso Veloso:

“O respeito é, porventura, a atitude que deveria sobrepor a qualquer outra quando se aceita uma obra de reabilitação num espaço marcado pelo seu valor histórico, arquitetónico, monumental. Respeito perante o vestígio solene dessa história de séculos que, em vez de murchar ou empobrecer o lugar, antes o enobrece com a justiça do tempo. Um respeito imenso, mas que nunca se torne um servilismo estéril incapaz de asfixiar a energia criadora do arquiteto responsável pelo projeto, de todos os profissionais que se envolveram na sua execução. ... compete escolher entre as modernas possibilidades técnicas e estéticas aquelas que não impliquem uma perda de respeito para com o lugar e que, no mesmo modo, enriqueçam os seus espaços, a sua capacidade de diálogo com o meio envolvente, com os seus futuros utilizadores, com as suas novas funções. Realizar leves ou profundas alterações arquitetónicas... deve converter-se numa arte: a arte de obter novos espaços, de melhorar a sua habitabilidade e até facilitar os movimentos dos seus utilizadores com o maior respeito por uns princípios, por uma filosofia arquitetónica revalorizada pelo aval que a história presta sempre aos seus edifícios nobres” (Veloso, pp. 11-12).

No entanto, o excessivo zelo pelo património, por vezes acaba por engessar por completo o arquiteto e tolhe-lhe a criatividade, paralisando-o diante do desafio proposto, problema tão grave quanto à hipótese anterior.

Neste modo, Michel Lacroix afirma que

“o património não pode esquecer que o desenvolvimento da pessoa é a sua verdadeira finalidade. Para desempenhar eficazmente esse papel, é importante que não seja ‘museografado’, congelado. Só cumprirá a sua vocação intelectual, afetiva, espiritual, se se aproximar ao público, se se

⁴⁷ Sobre este ponto vale lembrar a frase de Francisco Barata:

“A Arquitetura é sempre a relação de um património herdado (em sentido lato) com um património que se cria, é, portanto, um património em transformação, em construção. Tal como sucede com qualquer herança, será sempre a avaliação que no presente se lhe atribui, que lhe permitirá (ou não) ser assumida e legitimar-se como património arquitetónico para o futuro” (Barata, 2018, p. 7).

vulgarizar e se se tornar suficientemente atrativo” (Lacroix, p. 86).

E a ele acompanha Fernando Távora quando, em sua obra “Da organização do espaço” nos lembra:

“Em verdade há que defender, teimosamente, a todo o custo, os valores do passado mas há que defendê-los com uma atitude construtiva, quer reconhecendo a necessidade que deles temos e aceitando a sua atualização, quer fazendo-os acompanhar de obras contemporâneas” (Távora, 1962, p. 58).

Assim, a célebre frase de Rem Koolhaas de que “a arquitetura é uma mistura paradoxal de poder e impotência” (Koolhaas, 2016, p. 15) parece aplicar-se perfeitamente aos presentes casos, pois o poder que o projetista tem de alterar por completo o edifício a ser renovado pode causar-lhe uma verdadeira ruína, enquanto a excessiva preocupação pelo existente seria capaz de resultar numa completa inércia sua diante do novo problema a ser enfrentado⁴⁸.

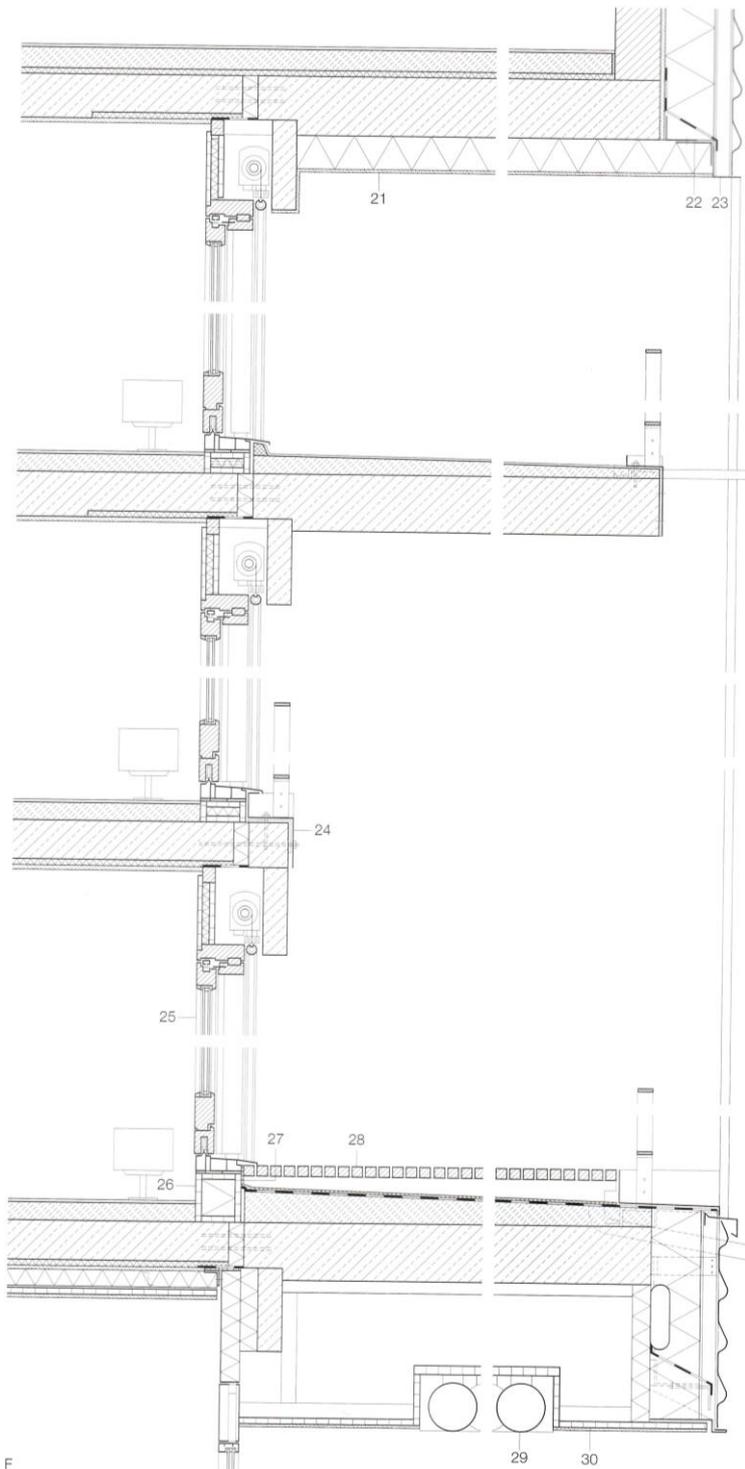
Outras vezes, ocorre que o edifício em questão já sofreu muitas intervenções passadas, as quais retiraram por completo as características originais do edifício. Deste modo, torna-se necessário perceber a pré-existência e as intervenções realizadas para se optar como proceder. A respeito do restauro do Mosteiro San Bernardo, em Valladolid, realizado pelo Arquiteto Pablo Puente Aparicio, María Alonso Veloso afirma:

*“Em primeiro Lugar, ‘desrestaurar’.
Entre as ações prioritárias, o projeto de reabilitação contemplou o trabalho de ‘desrestaurar’, ou seja, eliminar as soluções construtivas feitas em meados do século XX com materiais que na altura impediram a destruição total do monumento, mas que na atualidade eram daninhas e não garantiam a sua estabilidade ou conservação” (Veloso, p. 41).*

Assim, como dito, em muitas situações será necessário “desrestaurar”, ou seja, demolir as intervenções passadas para que o espírito do edifício seja resgatado.

Em quaisquer das hipóteses a introdução de sistemas de tratamento de ar e de climatização serão sempre um grande desafio e, a depender da situação deverá ser optado se o sistema ficará evidenciado ou ocultado e como fazê-lo de modo a garantir a linguagem que se pretendeu dar à obra.

⁴⁸ Daí, portanto, resulta a referida dicotomia “poder x impotência”.



Vertical section • Horizontal section, facade
 Vertical section, conservatory
 Vertical section, loggia
 Scale 1:20

- 1 Parapet capping, 2 mm sheet stainless steel
- 2 Roof construction: 80 mm extensive planting
 10 mm waterproofing, 2 layers of bitumen felt
 120 mm rock wool thermal insulation
 60 mm roof finishes (existing)
 150 mm reinforced concrete slab (existing)
 15 mm plaster
- 3 Wall construction: corrugated aluminium sheeting,
 170 x 30 x 1 mm, coated
 50 mm ventilation cavity
 160 mm mineral wool thermal insulation
 250-300 mm masonry of concrete-filled wood-chip
 hollow blocks (existing)
- 4 Window frame, 2 mm sheet aluminium, coated
- 5 Wood-aluminium window with insulating glass
- 6 Fixing bracket, aluminium
- 7 Fresh-air duct, alum., on acoustic pads, 213 x 57 mm
- 8 Rainwater outlet from loggia, ground floor
- 9 Aluminium section, perforated
- 10 Thermal insulation, 140 mm, base of wall rendered
- 11 Backing piece behind cladding joint
- 12 Aluminium section, continuous, 50 x 50 x 4-7 mm
- 13 Corner profile, coated aluminium
- 14 Permanently resilient seal
- 15 Sliding/folding window, alum. frame/insulating glass
- 16 Spandrel panel, 125 mm clay brickwork, reinforced
- 17 Plaster, 10 mm, with fabric reinforcement, 40 mm
 mineral wool thermal insulation attached with adhesive
- 18 Lintel (existing), 160 mm rock wool thermal insulation
- 19 Lifting/sliding wooden door with insulating glass
- 20 Epoxy resin fillet fixed to floor (existing)
- 21 Plaster, 100 mm mineral wool thermal insulation
- 22 Fixing angle, aluminium
- 23 Continuous aluminium section
- 24 Frame, 4 mm coated sheet steel, factory-bent
- 25 Lifting/sliding wooden door with insulating glass
- 26 Frame widening, wood-based product, thermally
 insulated
- 27 Waterproofing to junction with window, liquid plastic
- 28 Loggia floor construction:
 grating of oak battens, 35 x 35 mm, arrises chamfered
 40 mm tapered oak bearers
 8 mm rubber granulate mat
 12 mm polymer-modified bitumen roofing felt, 2 layers
 70-110 mm screed laid to fall
 190 mm reinforced concrete
- 29 Lamp
- 30 Plaster background, cement-bonded wood-based
 product



Figura 38 – Modelo de sistema de climatização aparente. Residential Development, Zurique, Suíça –Arquitetos Urs Primas e Proplanig. Fonte: (Giebeler, et al., 2009, p. 261).

Quando se opta por ocultá-los restam basicamente três opções: a partir do teto, das paredes, ou do piso. Em todas as hipóteses será necessária a criação de *courettes* para a subida e descida da tubagem que transportará o ar (condicionado e tratado) desde as máquinas de produção até as unidades internas de distribuição.

Na primeira hipótese, o mais comum é a introdução de um teto rebaixado que ocultará as condutas por sob o teto estrutural e sobre o falso, de modo que as grelhas de insuflação e recolha de ar podem ficar evidenciadas ou ocultas, por exemplo, dentro de um elemento de mobiliário projetado para tal função.

- | | |
|--|--|
| <p>Construcción techo de galería:
 Borde de techo Uginox
 1 Filtro para tejados de pizarra
 2 Hormigón armado con pendiente</p> <p>Construcción techo de aula:
 3 Sustrato de techo
 4 Capa de separación de lana
 5 Alfombrilla de acumulación de agua
 6 Membrana de techo Polyolefin
 7 EPS gris
 8 Barrera de vapor
 9 Hormigón armado con pendientes
 10 Paneles acústicos con cámara de aire
 11 Relleno de arcilla</p> <p>Construcción techo de lucernario:
 Borde de techo Uginox
 12 Filtro para tejados de pizarra
 13 Hormigón armado con pendientes
 14 Aislamiento de lana de roca
 15 Barrera de vapor
 16 Techo acústico (cartón-yeso)</p> <p>Estructura de suelo:
 17 Relleno de casena
 18 Anhidrido con suelo radiante
 19 Aislamiento acústico de pisadas
 20 Aislamiento EPS gris
 21 Hormigón armado</p> <p>Construcción de muros:
 22 Ladrillos clinker
 23 Aislamiento EPS gris
 24 Hormigón armado
 25 Mampostería
 26 Enlucido de arcilla</p> <p>Construcción de muros (sótano):
 27 Hormigón armado
 28 Perimetro de aislamiento EPS
 29 Hormigón armado</p> | <p>Roof construction loggia:
 Roof edge Uginox
 1 Slated roofing felt
 2 Reinforced concrete with slope</p> <p>Roof construction classroom:
 3 Roof substrate
 4 Separating layer fleece
 5 Water storage mat
 6 Roofing membrane Polyolefin
 7 EPS grey
 8 Vapour barrier
 9 Reinforced concrete with gradients
 10 Acoustic panels with cavity
 11 Clay filler</p> <p>Roof construction skylight:
 Roof edge Uginox
 12 Slated roofing felt
 13 Reinforced concrete with gradients
 14 Rock wool insulation
 15 Vapour barrier
 16 Acoustic ceiling (plasterboard)</p> <p>Floor structure:
 17 Casen filler
 18 Anhydride with floor heating
 19 Footfall sound insulation
 20 Insulation EPS grey
 21 Reinforced concrete</p> <p>Wall construction:
 22 Clinker bricks
 23 Insulation EPS grey
 24 Reinforced concrete
 25 Masonry
 26 Clay plaster</p> <p>Wall construction (basement):
 27 Reinforced concrete
 28 Insulation EPS perimeter
 29 Reinforced concrete</p> |
|--|--|

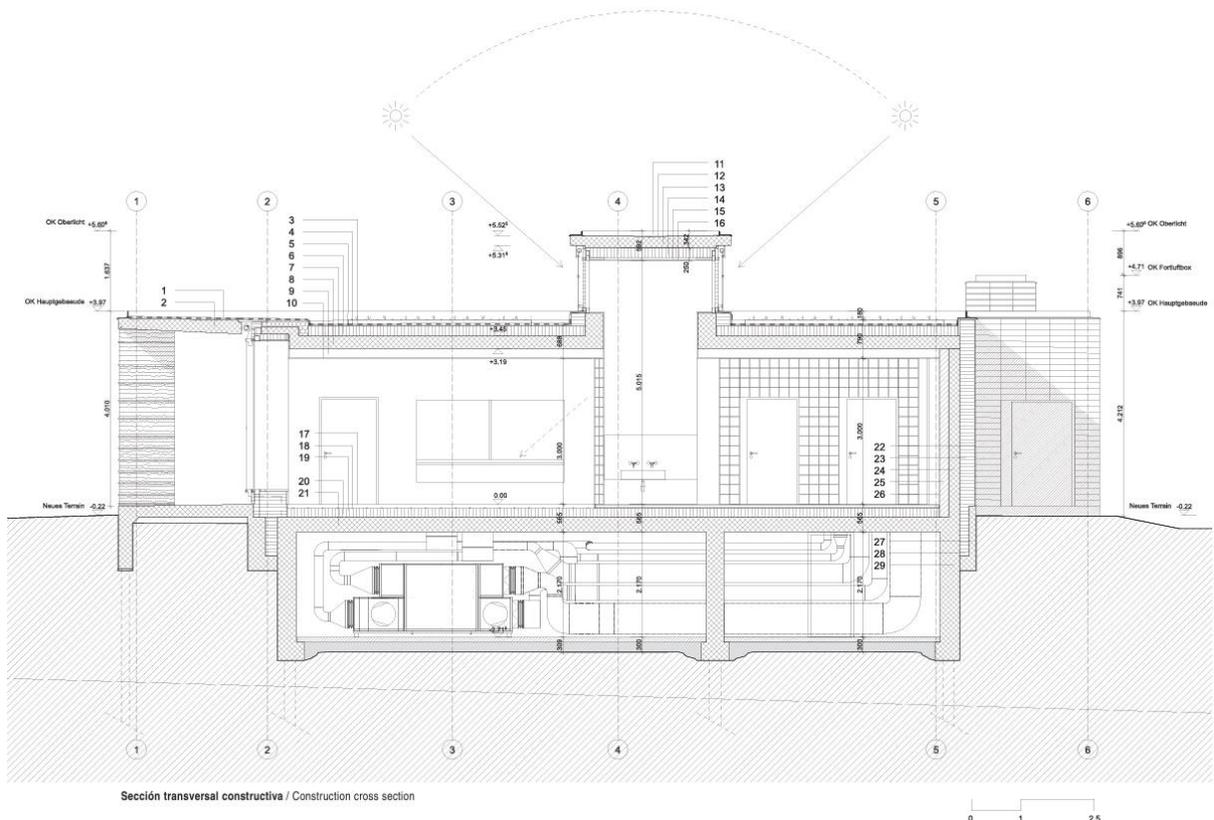


Figura 39 – Exemplo de sistema de AVAC oculto por teto falso com aberturas aparentes. Pavilhão Escolar Allenmoos II, Zurique, Suíça - Roger Boltshauser. Fonte: (Pabellón Escolar Allenmoos II, 2021, p. 80).

- 1 Construcción de pared en pasillo:
Contrachapado de arce canadiense sobre madera contrachapada de abedul 15 mm perforada Ø 4 mm
Filtro protector
Subconstrucción 40/20 mm con lana mineral intermedia 20 mm
Tabique de separación con placas de cartón-yeso a ambos lados 2x 12,5 mm, lana mineral intermedia 50 mm
- 2 Construcción de forjado en pasillo:
Contrachapado de arce canadiense sobre contrachapado de madera de abedul 15 mm, con perforaciones Ø 4 mm
Filtro protector
Subconstrucción marco de madera 60/60 mm con lana mineral intermedia 60 mm
- 3 Tubos fluorescentes
- 4 Cortafuegos chapa de acero
- 5 Aire de retorno
- 6 Rociadores
- 7 Apertura de registro
- 8 Luminaria con salida de aire integrada
- 9 Pared de separación acristalada 6 + cámara intermedia 88 + 8 mm
- 10 Construcción de suelo en pasillo:
Parqué de laminas delgadas de madera de arce canadiense 8 mm
Mortero de anhidrita 58 mm
Placas para sistema de suelo radiante y refrigerante (en zona de fachada) 30 mm sobre capa de separación
Aislamiento de ruido de impacto 20 mm
Placas portantes de suelo técnico 22 mm
Cámara de doble suelo 167 mm
Aislamiento lana mineral con recubrimiento 50 mm
Forjado de hormigón armado 230 mm (existente)
- 11 Bloque de aislamiento térmico con remate de cartón-yeso por ambos lados

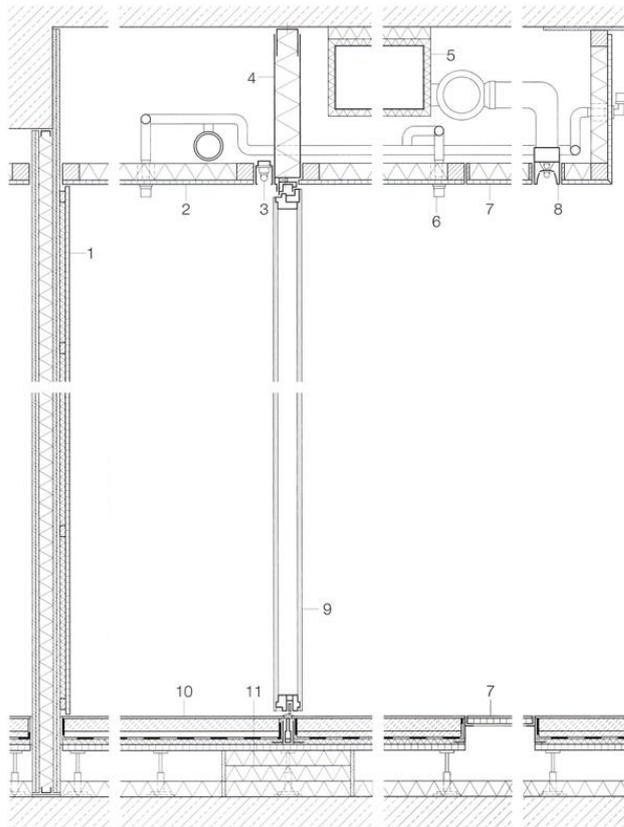


Figura 40 – Modelo de introdução de sistema de AVAC oculto em equipamento eletrônico (iluminação) – Resseguradora em Munique, Baumschlager & Eberle arquitetos. Fonte: (Schittich C. (., 2006, p. 141).

Outra maneira é afastar o teto falso das paredes e manter-se ocultas também as saídas e entradas de ar, evidenciando, apenas o afastamento da cobertura com as paredes.

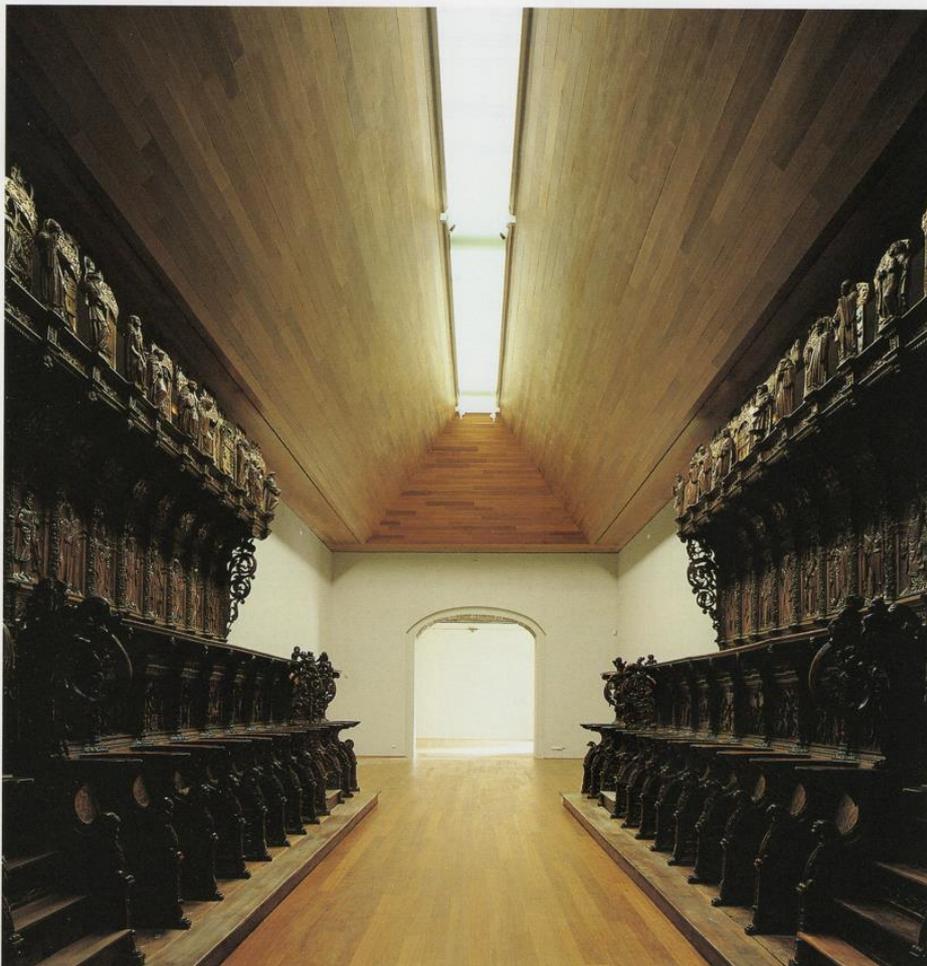
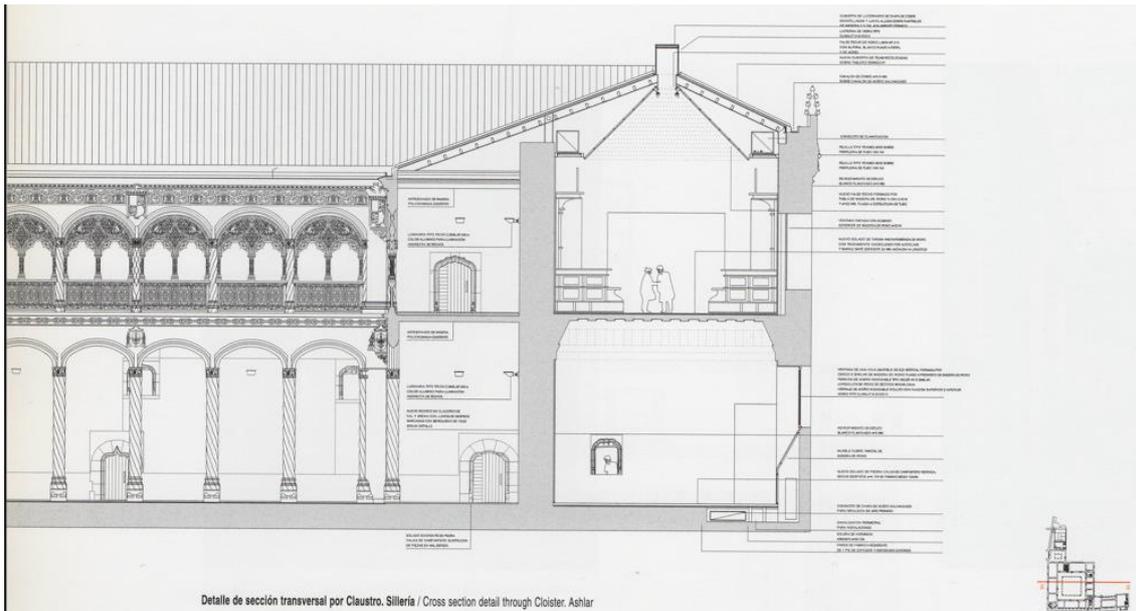


Figura 41 – Modelo de introdução de sistema de AVAC oculto no teto com aberturas para passagem de ar - Museo Nacional de Escultura de Valladolid. Fonte: (Fuensana Nieto Y Enrique Sobejano - Ampliación del Museo Nacional de Escultura de Valladolid, 2008, p. 30).

O teto também pode ser rebaixado apenas pontualmente no local onde as condutas de ar são necessárias, de modo a evidenciar de modo menos ostensivo a intervenção realizada.



Figura 42 – Exemplo de teto parcialmente rebaixado para ocultação de condutas. Pabellón de ladrillo en dos tiempos - Estúdio Gonzales Arquitectos. Fonte: (Chicano A. M., 2022, p. 24)

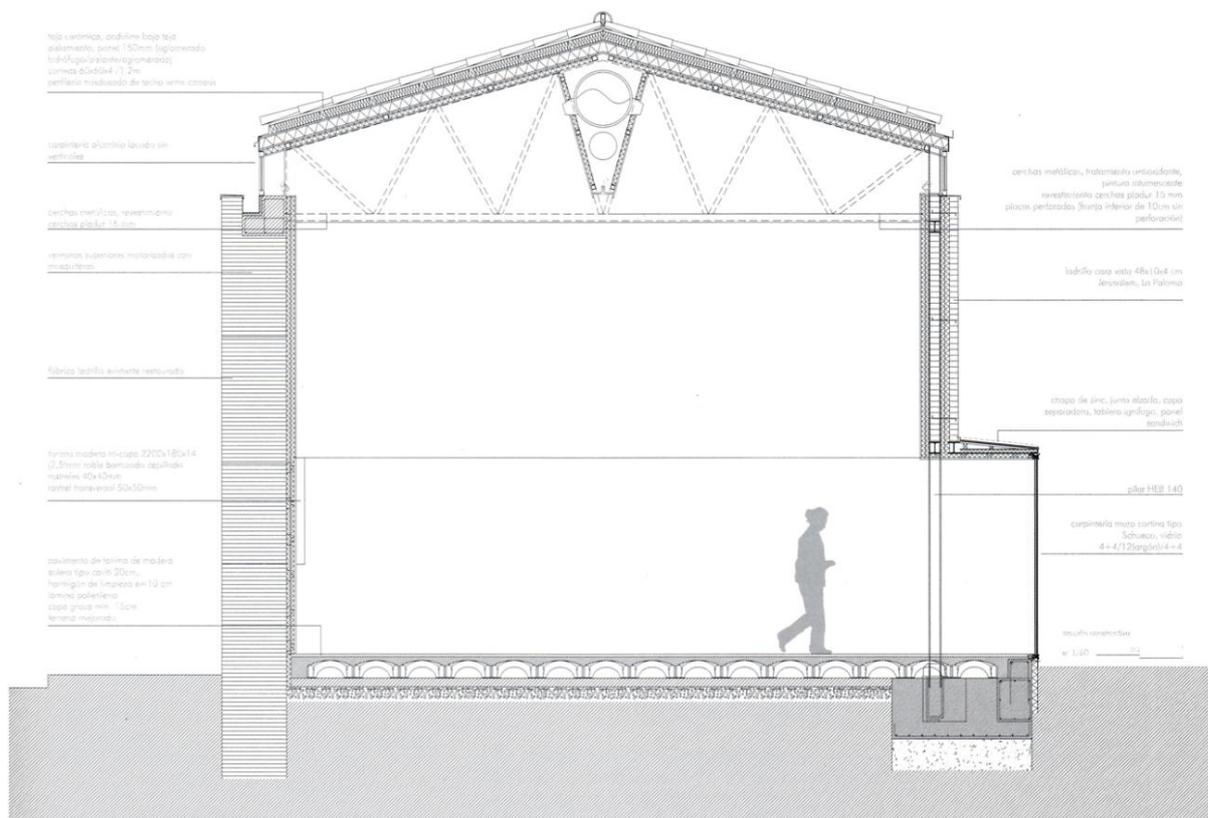


Figura 43 – Exemplo de teto parcialmente rebaixado para ocultação de condutas – corte construtivo. *Pabellón de ladrillo en dos tiempos - Estúdio Gonzales Arquitectos. Fonte: (Chicano A. M., 2022, p. 25).*

A segunda hipótese de ocultação consiste em construir paredes ocas por onde passarão os dutos. As soluções são semelhantes à hipótese anterior, onde as grelhas de insuflação e extração de ar pode ficar aparente nas paredes, ocultadas por um móvel, ou ocultada por detrás da parede que ficaria afastada do piso e/ou do teto para efetuar esta troca de ar.



Figura 44 – Sistema de ocultação de sistemas de AVAC em equipamento de mobiliário - *Montebelo Mosteiro de Alcobaça - Fotos do autor.*

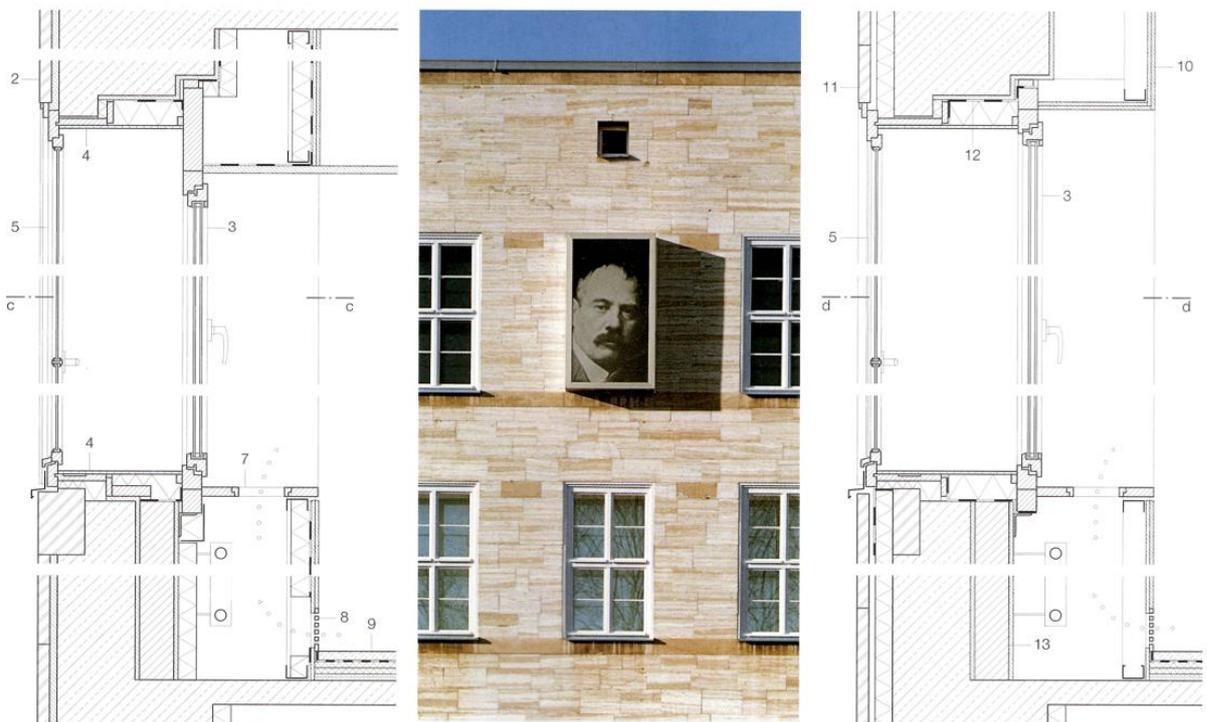
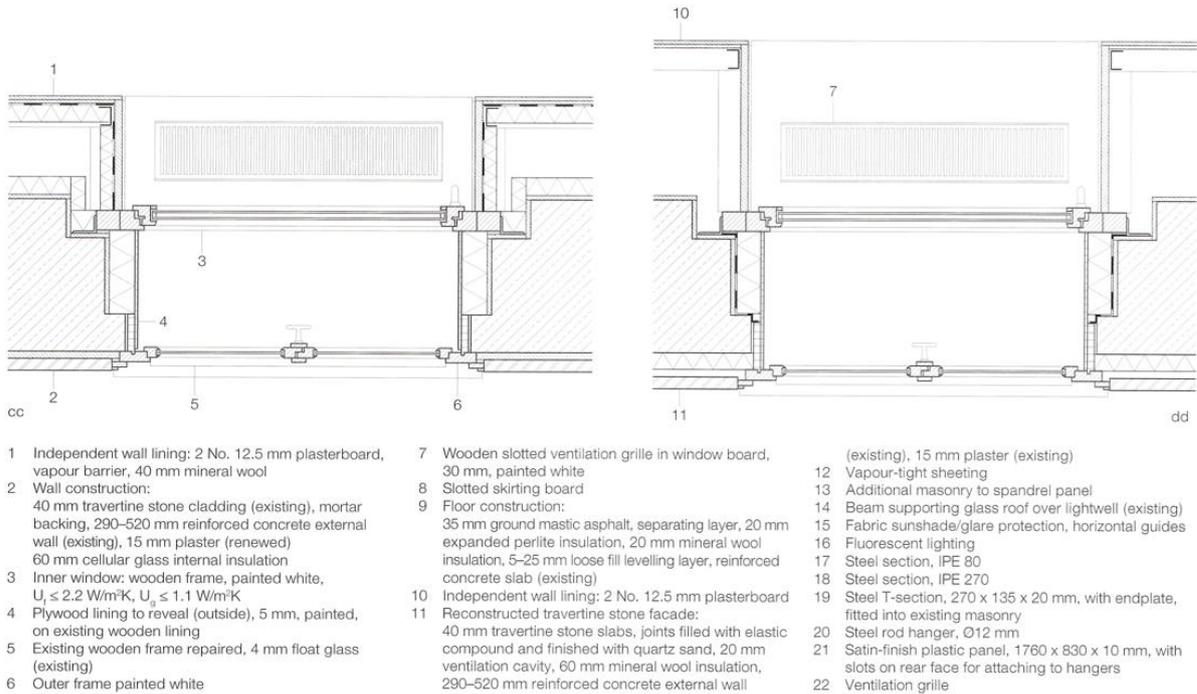


Figura 45 – Modelo de introdução de sistema de AVAC oculto por mobiliário. Chemnitz Museum, Chemnitz - Staab Architekten. Fonte: (Giebler, et al., 2009, p. 232).



Figura 46 – Sistema de ocultação de sistemas de AVAC em mobiliário - Montebelo Mosteiro de Alcobaça - Foto do autor.



Figura 47 – Sistema de ocultação de sistemas de AVAC nas paredes - Montebelo Mosteiro de Alcobaça - Foto do autor.

A terceira hipótese consiste no uso da laje de piso para a introdução dos mecanismos de percurso de ar. Esta hipótese é a menos comum em renovações por prever a necessidade de construção de lajes novas com a previsão destes elementos novos, ou a elevação do piso existente com a inclusão destas condutas o que, contudo, acaba por gerar uma maior carga à estrutura.

Office floor plan with moveable dividing walls Scale 1:100
Vertical section office Scale 1:20
Vertical section boulevard Scale 1:20

- 1 Roof structure:
Extensive roof greenery, 180 mm
Drainage mat, 8 mm
Sealing sheet, 2 mm
Thermal insulation, 160 mm
Vapour barrier
Reinforced concrete roof with activated concrete core, 250 mm, plaster, 6 mm
- 2 Cover plate:

- 3 anodised aluminium, 2 mm
- 3 Sunshading blinds
- 4 Double glazing:
toughened glass 10 mm + 16 mm gap between panes + laminated 15 mm
- 5 Ground convector
- 6 Floor structure:
Loop-pile carpet, 10 mm
Anhydrite flowing screed, 35 mm
Separation layer
Gypsum mounting plate, 18 mm
Hollow floors, 180 mm
Reinforced concrete roof with activated concrete core, 250 mm, plaster, 6 mm
- 7 Anti-glare screen

- 8 Office cupboard MDF sliding door, 22 mm
- 9 Skylight laminated, 13 mm
- 10 Partition:
Gypsum plasterboard, 2x 12.5 mm, sub-construction steel profile 60/60/3 mm between
Mineral-fibre insulation, 75 mm gypsum plasterboard, 2x 12.5 mm
- 11 Sheet-steel guttering with liquid-plastic seal, Fleece inlay, 2 mm
Insulation, 60 mm
Supporting sheet-steel tray, 5 mm
- 12 Steel profile, T 200/70/20 mm

- 13 Sun-protection insulating glass: toughened glass 10 mm + 12 mm gap between panes + laminated 15 mm
- 14 Rod: brushed stainless steel, Ø 57 mm
- 15 Floor structure:
Terrazzo, 50 mm
Cement-bound plate, 20 mm
Hollow floor, 36 mm
Reinforced concrete floor, 160 mm
Mineral wool insulation, 2-ply, 120 mm
suspended ceiling, gypsum plasterboard, 12.5 mm
Plaster, 2 mm
- 16 HEM steel profile, 400 mm

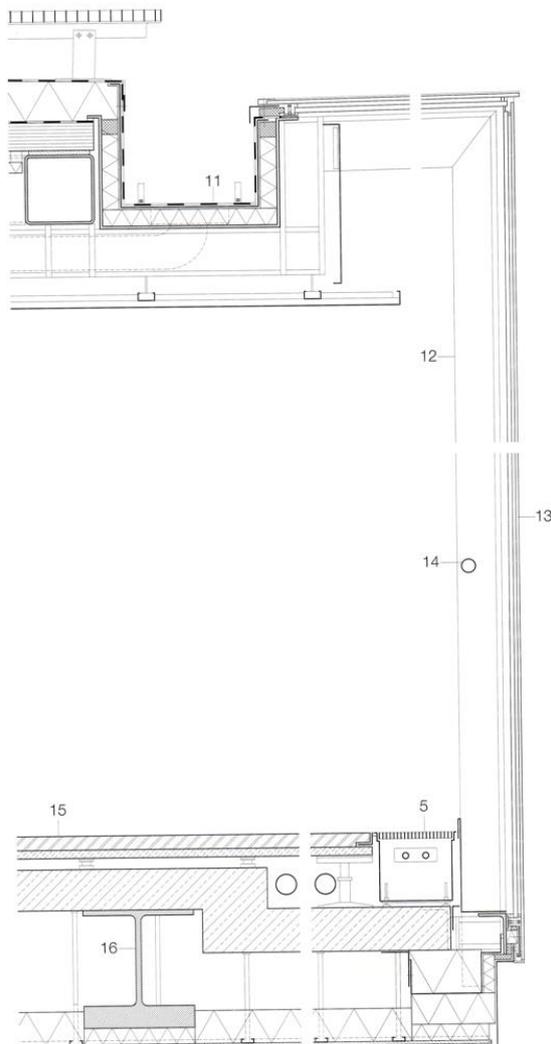


Figura 48 – Modelo de introdução de sistema de AVAC pelo piso – AachenMünchener head office in Aachen, Kadawittfeldarchitektur. Fonte: (Schittich C. (., 2011, p. 71).

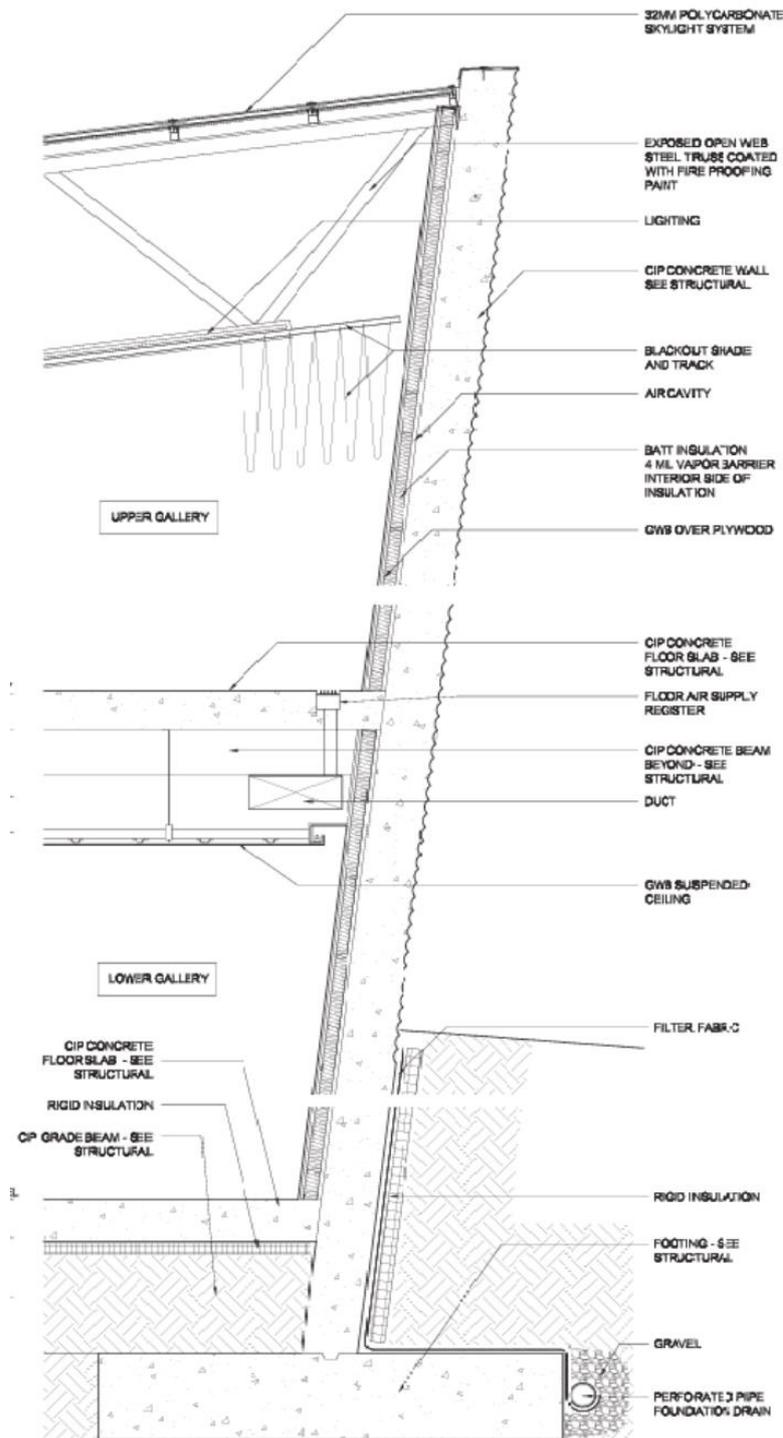


Figura 49 – Corte de modelo de introdução de sistema de AVAC pelo piso - Museu de Arte Nanjing Sifan, Steven Holl Architects. Fonte: (Museu de Arte Nanjing Sifan, 2014, p. 248).

Quando se opta por evidenciar todo o sistema de condicionamento e tratamento de ar, pode-se fazê-lo basicamente de uma de duas formas: condutas pelo exterior, ou pelo interior. Ambas hipóteses causam grande impacto visual ao edifício, sendo que a primeira afeta diretamente sua fachada por colocar as infraestruturas nela evidentes, o que, em última instância, acaba por afetar toda a vizinhança do edificado.

A opção pelas condutas à vista no interior do imóvel causa uma afetação menos evidente, pois apenas aqueles que o frequentarem as notarão. Isto, contudo, não significa que a descaracterização causada pelo restauro esteja menos evidente, pois dependerá de cada caso, do modo como é executado, dos materiais escolhidos, do local onde estes dutos são posicionados, etc., além da linguagem que se pretende dar à renovação do edifício, sendo, em último caso, esta a linha mestra que deverá ser seguida pelo projetista.

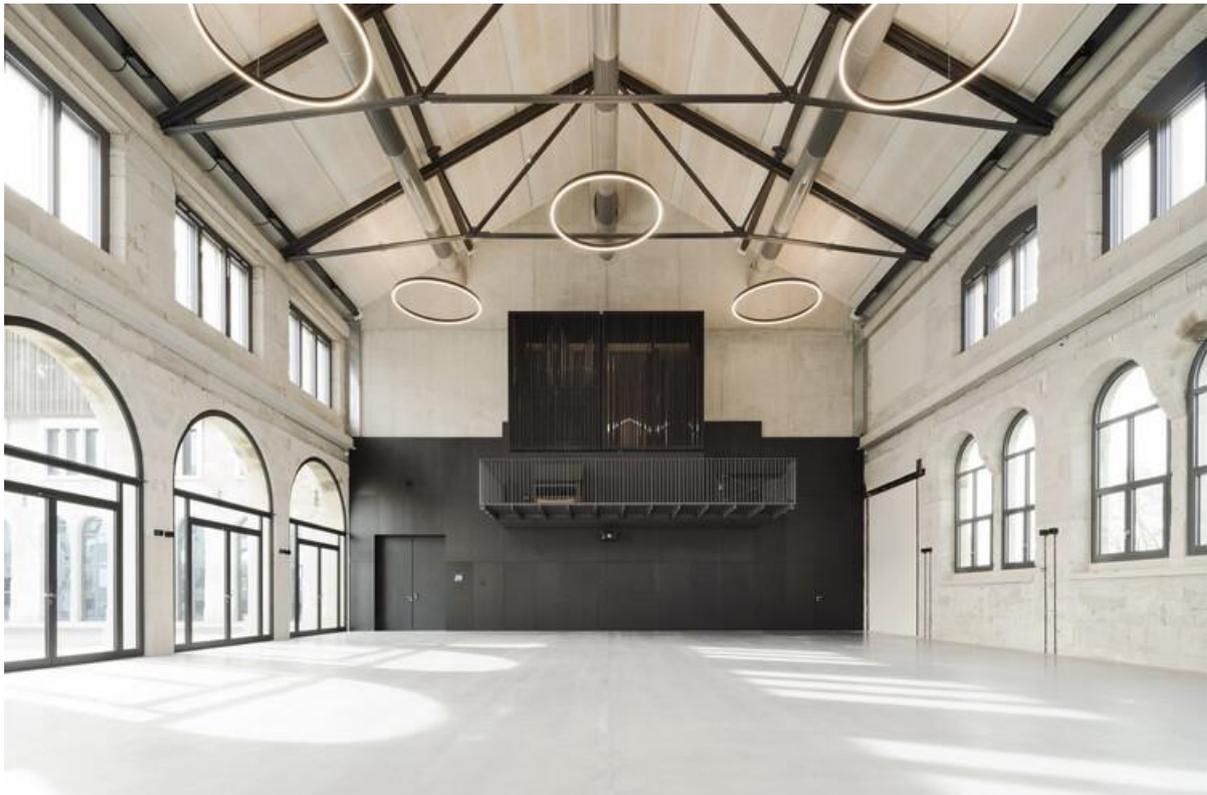


Figura 50 – Exemplo de condutas de ar aparentes no interior. Kultur bahnhof Aalen - a+r Architekten. Fonte: (Vidal, 2022, p. 16).



Figura 51 – Exemplo de condutas de ar aparentes no interior. Kultur bahnhof Aalen - a+r Architekten. Fonte: (Architektur Fachmagazin, 2023).

PARTE IV
CASOS DE ESTUDO E O CASO PRÁTICO

Capítulo V – Casos de Estudo

Com a inauguração do novo parque escolar em Portugal, muitas escolas foram reabilitadas. Deste modo, com as reformas dos edifícios, tornou-se necessária introdução de novos elementos capazes de tratar o ar para permitir sua boa qualidade aos utentes.

Restou igualmente necessário atender aos requisitos impostos pelas autoridades para que a climatização interior destes edifícios seja capaz de garantir conforto térmico permanente.

Por tal razão, e em virtude do caso prático tratar de um projeto para reabilitação de um campus universitário situado num edifício antigo, no presente estudo tomou como base de estudo três escolas reabilitadas no novo parque escolar português as quais tiveram soluções diferentes para lidar com a questão da introdução de elementos capazes de permitir que a qualidade do ar e o conforto térmico fossem alcançados de modo a cumprir os requisitos legais impostos pelo governo.

V.1 – Escola Básica e Secundária de Rodrigues de Freitas – Conservatório de Música do Porto

A escola, localizada no Porto, tem seu projeto inicial pelo arquiteto José Marques da Silva e deu-se parte entre os anos de 1918 e 1932.

No projeto de renovação de 2007/2008, o antigo liceu foi prolongado para englobar o Conservatório de música do Porto que passou a ocupar sua ala poente e com a introdução de um novo auditório, o qual enquadra juntamente com um novo pavilhão gimnodesportivo, três quadras polidesportivas.

Para o projeto de reabilitação do edifício original, o arquiteto Manuel Fernandes de Sá tomou como solução deixar as condutas de tratamento e condicionamento de ar à vista juntamente com todas as infraestruturas novas que precisaram ser incluídas para atender às novas necessidades.

Na intervenção as condutas de extração foram direcionadas para as janelas do edificado intervencionado, sendo necessário, assim, substituir uma das peças de vidro das janelas por onde ocorre a retirada do ar do edifício, por um contraplacado marítimo pintado de branco a envolver o tubo responsável por esta função, o que resulta num impacto, tanto na fachada do edifício, como em seu interior, no primeiro caso com as saídas de ar, no segundo com as grandes condutas, bandejas e esteiras à mostra.

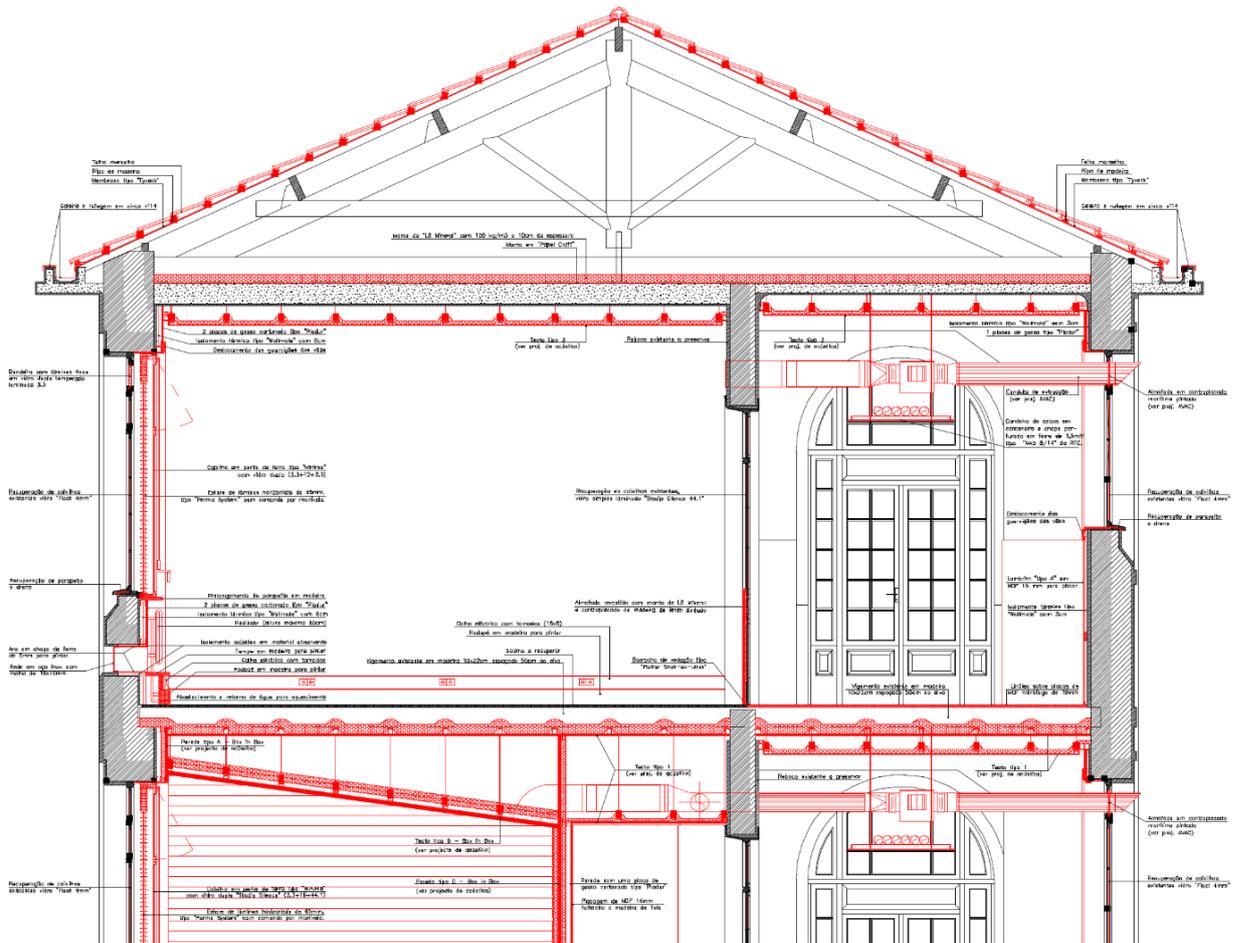


Figura 52 – Pormenor construtivo do sistema de AVAC implantado no edifício. Fonte: (Sá, 2023).



Figura 53 – Foto da fachada com as condutas de ar à mostra nas janelas. Fonte: (Heitor, 2011, p. 32).



*Figura 54 – Imagem do corredor com a esteira técnica para passagem das infraestruturas e estruturas de AVAC.
Fonte: (Sá, 2023).*



Figura 55 – Detalhe de fotografia da fachada da Escola com as condutas de extração de ar à mostra nas janelas. Fonte: (Heitor, 2011).

As janelas do edifício, por sua vez, foram apenas tratadas e recuperadas com a substituição dos vidros por uns mais termicamente eficientes.

V.2 – Escola Secundária de Carolina Michaëlis

Igualmente localizada na cidade do Porto, a Escola Secundária de Carolina Michaëlis, instituída em 1938 e também remodelada entre 2007/2008 também pelo arquiteto e professor Manuel Fernandes de Sá, porém com projeto posterior ao primeiro caso apresentado.

“O arquiteto, já com a experiência da anterior escola de Rodrigues de Freitas, propôs-se respeitar o edifício existente, adequando-o, claro, às exigências de conforto do programa atual ou mesmo introduzindo algumas alterações” (Pimenta, 2009, p. 49).

O referido respeito mencionado pela autora inclui a ocultação das condutas de ar por meio de paredes e tetos falsos.

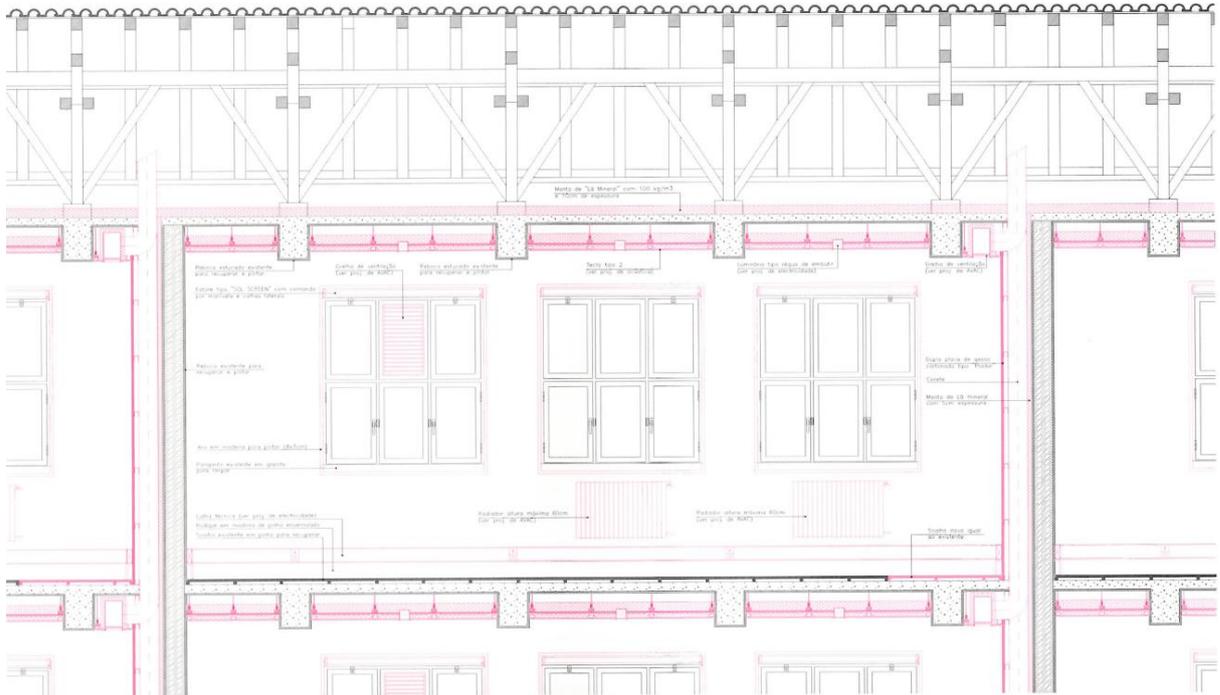


Figura 56 – Corte com as infraestruturas de AVAC da Escola Secundária de Carolina Michãelis. Fonte: (Pimenta, 2009, p. 58).



Figura 57 – Imagem do interior da biblioteca da Escola Secundária de Carolina Michãelis com as grelhas de AVAC embutidas no teto rebaixado. Fonte: (EFS - Engenharia Fiscalização e Serviço, 2023).



Figura 58 – Imagem do interior do auditório da Escola Secundária de Carolina Michâelis com as grelhas de AVAC embutidas no teto rebaixado. Fonte: (EFS - Engenharia Fiscalização e Serviço, 2023).

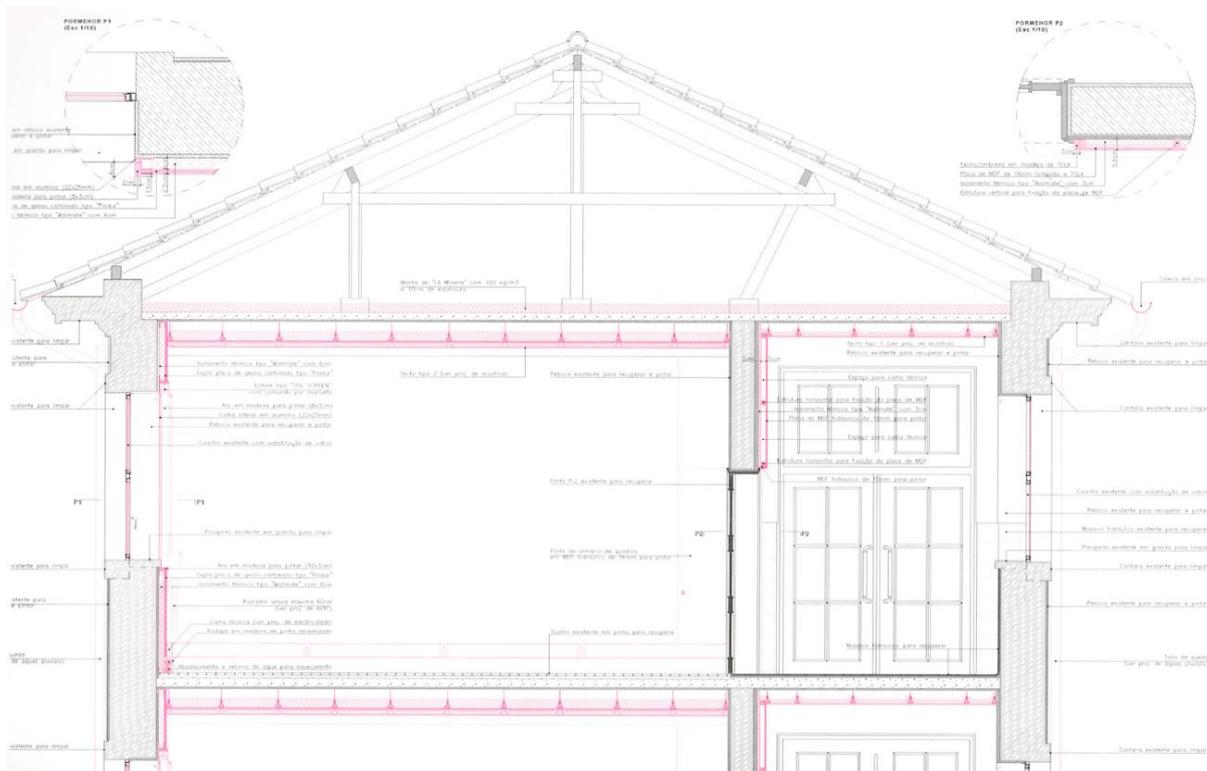


Figura 59 – Corte com as infraestruturas da Escola Secundária de Carolina Michâelis. Fonte: (Pimenta, 2009, p. 59).

Como se vê das imagens, o projetista não tenta esconder a intervenção realizada, mas tampouco busca evidenciá-la de forma tão impactante como o fez no exemplo anteriormente

apresentado, de modo que a solução adotada com a introdução do sistema de AVAC restou igualmente eficiente e com um impacto visual menos latente e menos gravoso à história do edifício. Assume a intervenção sem, contudo, desvelá-la por completo a partir da exposição exagerada de novos elementos no edifício antigo.

Tal como no caso anterior, as janelas não sofreram modificação, tendo sido apenas tratadas e recuperadas, sendo substituídos os vidros por uns mais termicamente eficientes.



Figura 60 – Imagem da fachada do Liceu Carolina Michaélis. Fonte: (EFS - Engenharia Fiscalização e Serviço, 2023).

V.3 – Escola Secundária de Gabriel Pereira

Situada em Évora, no lado de fora das muralhas históricas da cidade, esta escola está construída com tipologia de pavilhões independentes os quais circundam um pátio comum.

Sua área de implantação possui formato semitriangular e o terreno divide-se em duas plataformas: uma a norte em cota inferior, a qual conta com a entrada principal e com os pavilhões; e outra a sul, numa cota mais alta, contendo os campos de jogos e gimnodesportivo⁴⁹.

A área reabilitada, e de interesse deste estudo, é exatamente a parcela norte, a qual contém os pavilhões antigos remodelados.

⁴⁹ (Heitor, 2011, pp. 146-147)

O projeto feito pelo arquiteto João Lúcio Lopes, contou com o apoio da empresa de engenharia Projectual no que toca o tratamento do ar e seu conforto térmico.

A solução encontrada pelo arquiteto foi pela climatização por meio passivo, apoiado por um sistema geotérmico, o qual recolhe o ar exterior, conduzindo-o por um canal de tratamento de ar subterrâneo e que, em vista de sua profundidade acaba por, ao mesmo tempo, arrefecê-lo sem auxílio mecânico. Este ar circula pelas condutas e depois é distribuído para dentro dos edifícios por meio de colunas de ar numa temperatura aproximada de 15° (quinze graus) centígrados.

O ar, uma vez dentro do edifício circula pelos corredores e salas de aula, as quais contam com sistemas de portas com aberturas superiores e inferiores e janelas oscilantes que se mantêm permanentemente aberta para permitir a troca de ar com o exterior.

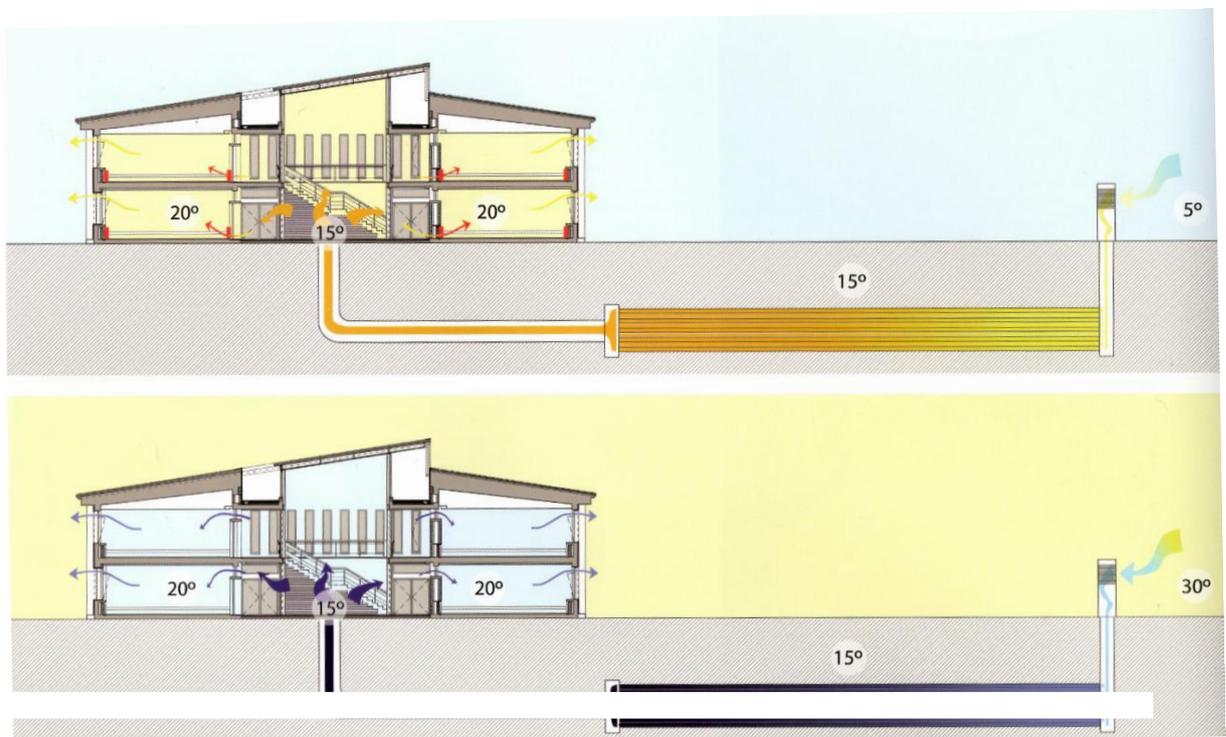


Figura 61 – Estudos Térmicos para Inverno e Verão do sistema de Funcionamento de tratamento de ar. Fonte: (Pimenta, 2009, p. 152).



Figura 62 – Detalhe do sistema de coleta de ar no exterior da escola. Fonte: (Skyscraper City, 2023).

O modelo é interessante e reduz consumo de energia, contudo exige um terreno grande, capaz de permitir um longo percurso do ar recebido do exterior pelas condutas de tratamento de ar para que sua eficiência seja garantida.

Sua instalação é, via de regra, mais dispendiosa que os modelos anteriores por exigir a escavação de uma grande área para a colocação dos sistemas de tratamento de ar, além de uma profundidade tal que permita que, no processo de tratamento e filtragem, o ar também esfrie.

Contudo, uma vez resolvidas estas questões, sua manutenção tende a ser mais barata, pois utiliza pouca energia elétrica, e necessita apenas de limpeza ou substituição periódica de filtros, sem o recurso a fluidos, ou sistemas de água, o que acaba por compensar o investimento anterior.

Trata-se, contudo, de uma intervenção mais drástica tal como demonstram as fotografias a seguir, uma vez que o edifício ficou completamente remodelado haja vista o anterior não possuir grande valor histórico e arquitetônico como os dois primeiros casos apresentados, o que levou, inclusive, à substituição da caixilharia das janelas por umas em alumínio e com vidros duplos, mais térmica e acusticamente eficientes.

Anteriores à Intervenção



Depois da Intervenção



Figura 63 – Fotografia comparativa da fachada do anterior e posterior à intervenção. Fonte: (Parque Escolar, 2023).

Capítulo VI – O Caso Prático: Projeto de Reabilitação do Edifício da Universidade Lusófona do Porto

Uma vez munido das informações necessárias, bem como da análise realizada a partir dos casos de estudo apresentados, passa-se ao caso prático da renovação do *campus* da Universidade Lusófona do Porto, situado à Rua de Augusto Rosa, 24, no Porto, e seu anexo à Rua de São Luís.

Como se poderá ver, trata-se de dois edifícios de características muito distintas, seja no aspeto construtivo, no tamanho ou no uso prévio.

O edifício principal data do século XIX e foi construído como “Recolhimento de Nossa Senhora das Dores e de São José das Meninas Desamparadas”, também conhecido como “Recolhimento da Porta do Sol”, para acolher meninas órfãs e viúvas após a Invasão Francesa ocorrida naquela mesma altura. Atualmente está classificado como monumento pelo Sistema de Informação par o Património Arquitetónico e arquivado sob o registo nº. IPA.00023027 (Sistema de Informação para o Património Arquitetónico, 2023).

Está construído em alvenaria de pedra e reboco nas paredes exteriores, tendo sido intervencionado nas últimas décadas para o acréscimo de um piso, o que implicou na troca das lajes de piso originais de madeira por umas de betão, além da laje de cobertura e a substituição do telhado que foi elevado para abrigar o referido novo piso, resultando na necessidade de um reforço estrutural feito pelo interior do edifício a partir da introdução de pilares, em alguns pontos em betão, noutros em aço.

Houve, ainda, a introdução de escadas no hall principal que o transformaram numa área de uso quase exclusivo para circulação vertical, desconfortável aos utentes. Quanto a este ponto, cabe ressaltar que os espelhos e cobertores da referida escada possuem tamanhos diversos, os quais variam, por vezes, dentro do mesmo lance, o que, inclusive, põe em risco a integridade física dos utentes.

Um outro lanço de escadas também foi introduzido junto ao hall de entrada do edifício a partir da criação de uma extensão à área existente em avanço sobre a área do pátio. Além destes elementos novos, foi construído, ainda, uma cobertura de vidro sobre o pátio central do edifício.

Outro elemento importante do edifício principal é a capela anexa, a qual teve seu uso original substituído para abrigar um auditório.

O edifício anexo da Rua de São Luís, por sua vez, construído muitos anos mais tarde, não possui qualquer registo histórico e não está qualificado como património. Suas paredes externas são constituídas por alvenaria de tijolo rebocadas. Uma intervenção recente acrescentou-lhe mais um piso e isolamento térmico.

As referidas alterações recentes resultaram em grande mudança na fachada do edifício principal à norte, como, por exemplo, a retirada das janelas originais em alguns pontos, e substituição de outras por janelas de formato redondo destoantes do traçado original para atender ao programa exigido pela Universidade, além de acréscimo de pisos, tal como mencionado e reposição do telhado para abarcar este novo piso construído.

Uma fotografia atual, comparada com uma datada de 1958, de autoria de Teófilo Dias, faz notar que também o edifício anexo sofreu grandes alterações na fachada.



Figura 64 – Fotografia tirada por Teófilo Rego e datada de 1958 - fonte: (Arquivo Municipal do Porto, 2023).



Figura 65 – Fotografia da fachada Norte a partir da Rua de Augusto Rosa. Fonte: fotografia do autor.



Figura 66 – Fotografia da fachada Norte a partir da Rua de São Luís. Fonte: fotografia do autor.

Em virtude do exposto, a proposta de intervenção para o edifício principal segue, primeiramente, no sentido de “desrestaurar” o edifício antigo, para tentar repô-lo a uma identidade mais homogênea e próxima da original, eliminando, assim, elementos que destoam demasiadamente das características desta espécie de edificado, a começar pela demolição do terceiro piso que, atualmente, apesar do seu largo uso, é desconfortável a professores e alunos.

As lajes de piso e de cobertura foram substituídas por estruturas leves de Cross Laminated Timber (CLT - madeira lamelada colada) com objetivo de retirar a sobrecarga da estrutura original (paredes de alvenaria de pedra) e, assim, demolir os pilares de betão que haviam sido criados. Esta intervenção resultou, ainda, no nivelamento dos pisos que, antes, faziam constantes alterações de um ambiente para o outro.



Figura 67 – Alçado Norte com proposta de demolições.

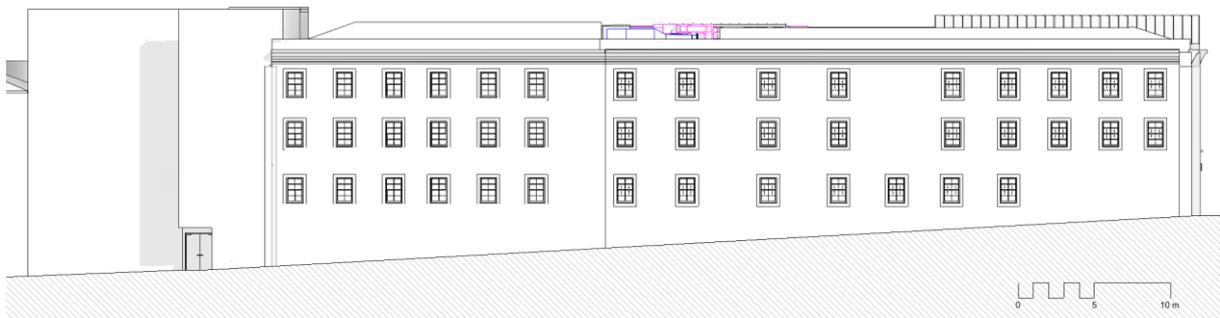


Figura 68 – Proposta para Alçado Norte.

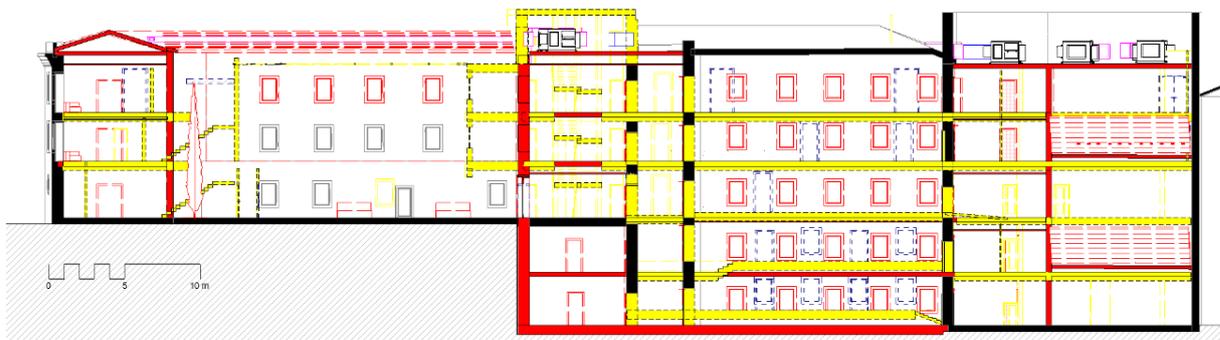


Figura 69 – Corte com proposta de demolições e construções.

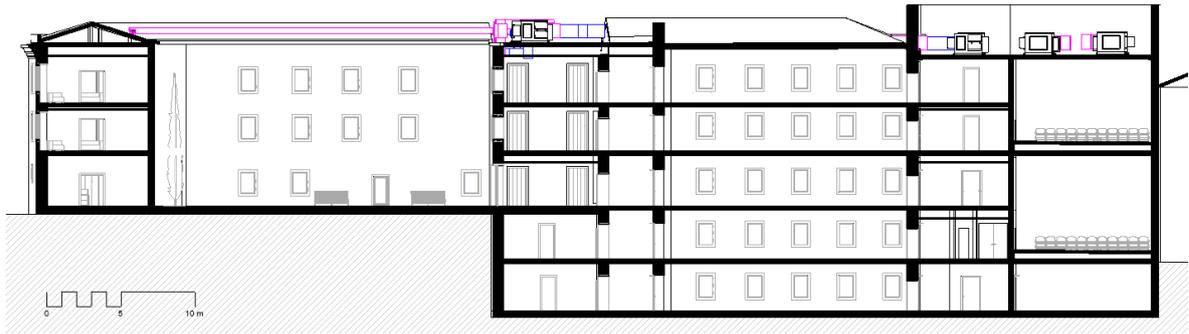


Figura 70 – Corte com proposta final.

A estrutura do telhado também passa a ser substituída por uma leve de CLT, com impermeabilização, ficando o isolamento termo acústico na laje de suporte e apoio do telhado. A partir desta solução, o uso da cobertura (onde ficava o antigo terceiro piso), para a colocação das máquinas de tratamento e condicionamento de ar foi o passo natural a ser tomado, assim como o uso dos vãos dos novos telhados para a passagem das condutas, onde eles descem em pontos-chave, escondidos por paredes falsas, para a circulação vertical.

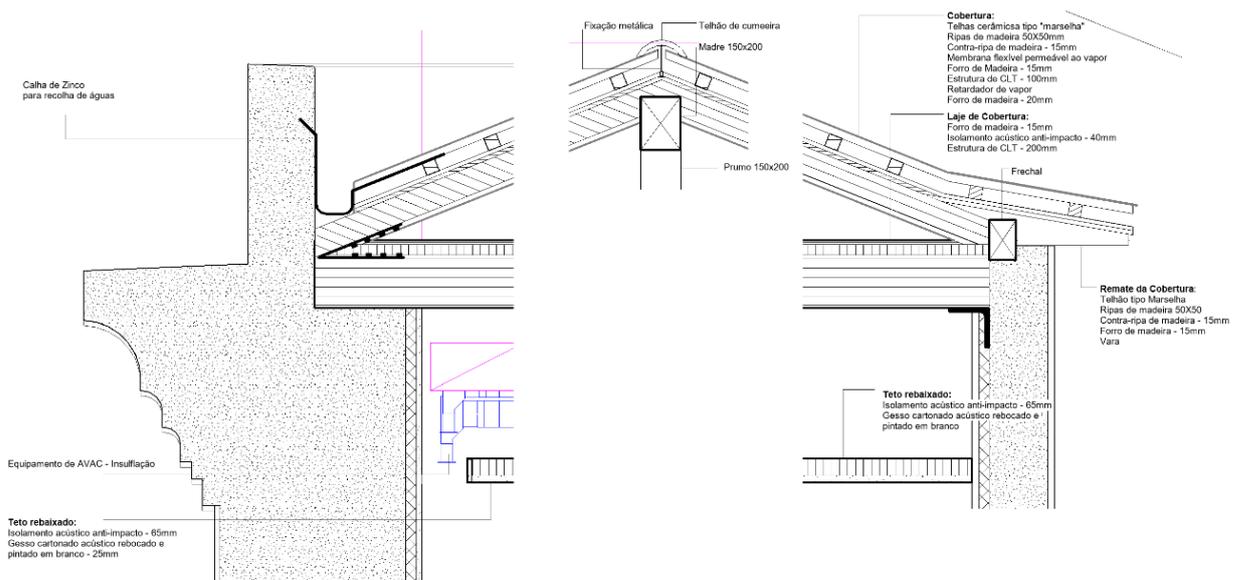


Figura 71 – Pormenor da proposta de intervenção do telhado.

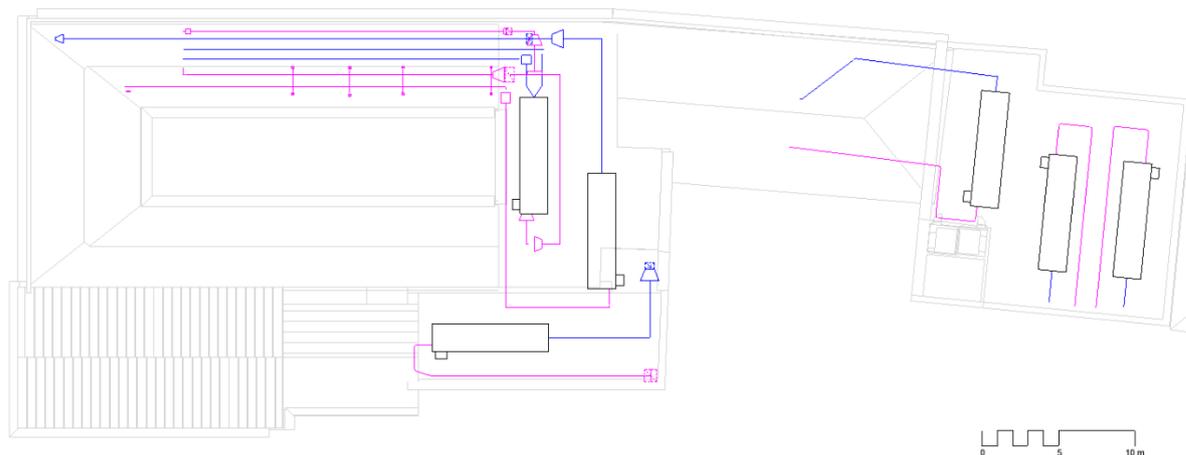


Figura 72 – Esquema de distribuição do sistema de AVAC pela cobertura.

Para a garantia do conforto térmico e da boa qualidade do ar optou-se pelo sistema de AVAC tipo UTA o qual fica responsável pela climatização e pelo tratamento do ar no edifício, o qual teve suas condutas ocultadas por paredes e tetos falsos criados para tal fim.

A opção pelo sistema de UTAs deu-se em virtude da localização do edifício: um centro urbano em gaveto com ruas de muita movimentação pedonal e intenso tráfego de veículos automotores, além de possuir nas cercanias muitos restaurantes, bares e outras espécies de mercados.

Portanto, em virtude da poluição do ar exterior com fumos e detritos gerados especialmente pelos automóveis que constantemente circulam nas mediações do edifício, bem como do alto nível de ruído existente na região que estes mesmos meios de locomoção geram, a melhor estratégia seguiu pela manutenção das janelas do edifício encerradas na maior parcela do tempo, de modo que a renovação do ar no seu interior consequentemente deverá dar-se de modo mecânico.

Contribuíram, ainda, para esta opção o ruído das pessoas que circulam nos arredores da faculdade, e dos próprios alunos nas áreas públicas existentes dentro e fora da referida instituição de ensino, além dos odores provenientes dos restaurantes e bares existentes na vizinhança.

Deste modo, uma vez determinado que os ambientes mais privados da universidade, tais como salas de aula, de estudo, de reunião, de professores, a área administrativa e os auditórios, deveriam estar encerrados, ou semicerrados em grande parte do tempo, sua climatização far-se-ia igualmente necessária para além do já mencionado tratamento do ar, de modo que a escolha de UTAs acabou por resultar como processo natural para garantir não apenas uma qualidade salobre do ar, mas ainda o desejável conforto térmico, tudo concentrado em unidades de tratamento de ar que acabam por utilizar os mesmos dutos de circulação.



Figura 73 – Esquema de plantas de AVAC.

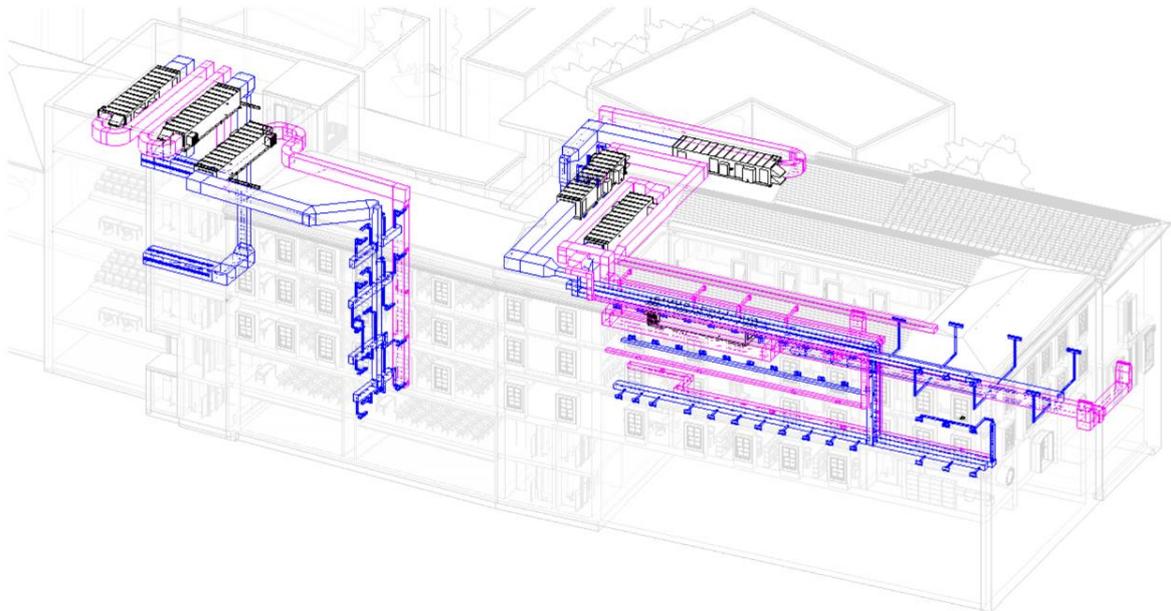


Figura 74 – Imagem 3D do esquema de distribuição de AVAC.

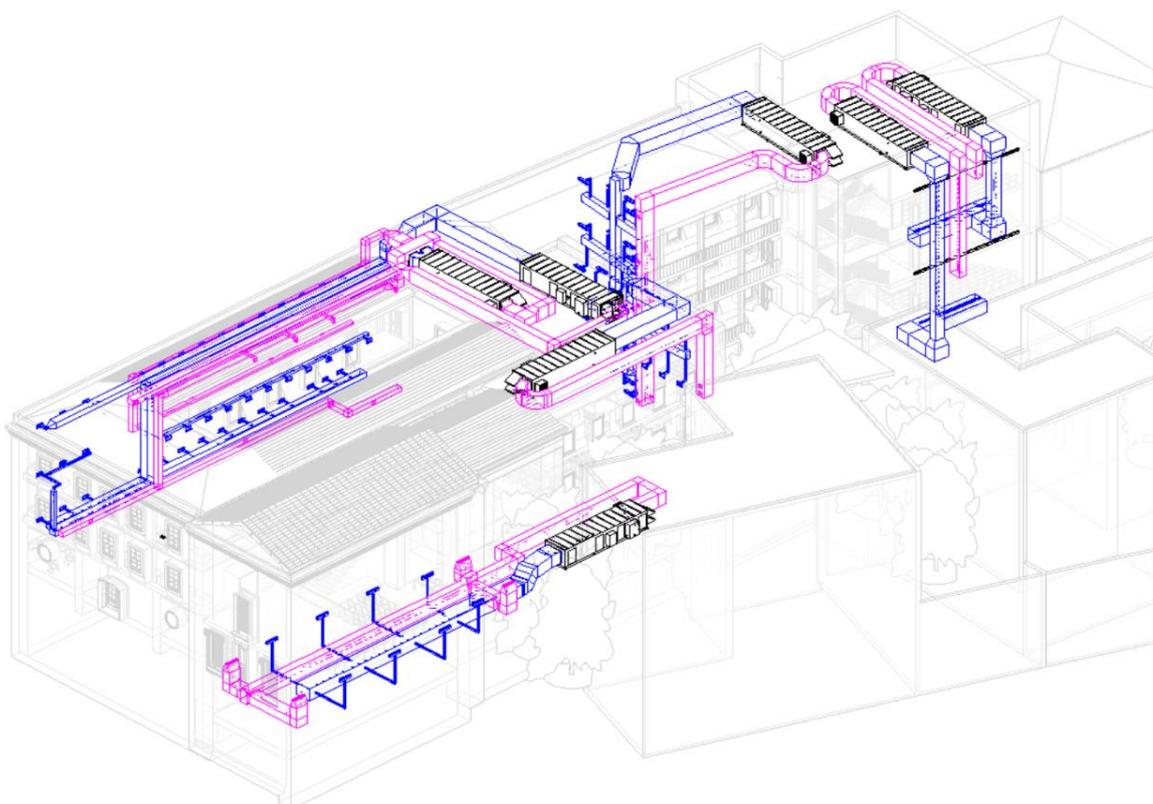


Figura 75 – Imagem 3D do esquema de distribuição de AVAC.

Como as saídas de ar nas paredes ou tetos implicariam num impacto visual muito forte e ressaltariam a intervenção ora proposta, a decisão tomada foi pela ocultação destes elementos de insuflação e extração de ar a partir de tetos falsos, afastados ligeiramente das paredes para garantir que o ar seja fornecido e retirado em cada ambiente tratado.

Para o segundo piso, os vãos dos telhados por sobre a laje de cobertura garantiram o percurso de modo que, quando necessário o abastecimento de algum ambiente, as condutas descem verticalmente para cada ambiente e distribuídos aos ambientes, ocultados pelo afastamento do teto à parede.

Para o primeiro piso e o rés-de-chão, tendo em vista o alto pé-direito do piso de entrada, um rebaixamento do teto foi sugerido junto a este último para ocultar as condutas no percurso horizontal, ficando a distribuição vertical de ar a cargo de paredes falsas para ocultar estes elementos infraestruturais, de modo que sobem ao primeiro piso, ou descem ao rés-de-chão nos locais onde é necessário o abastecimento de ar.

No local da capela, por haver uma área de depósito sob seu piso, propõe-se aí a colocação da máquina de AVAC que abastecerá, através do piso, este espaço com ar tratado e condicionado, fazendo também pelo piso a extração de ar.

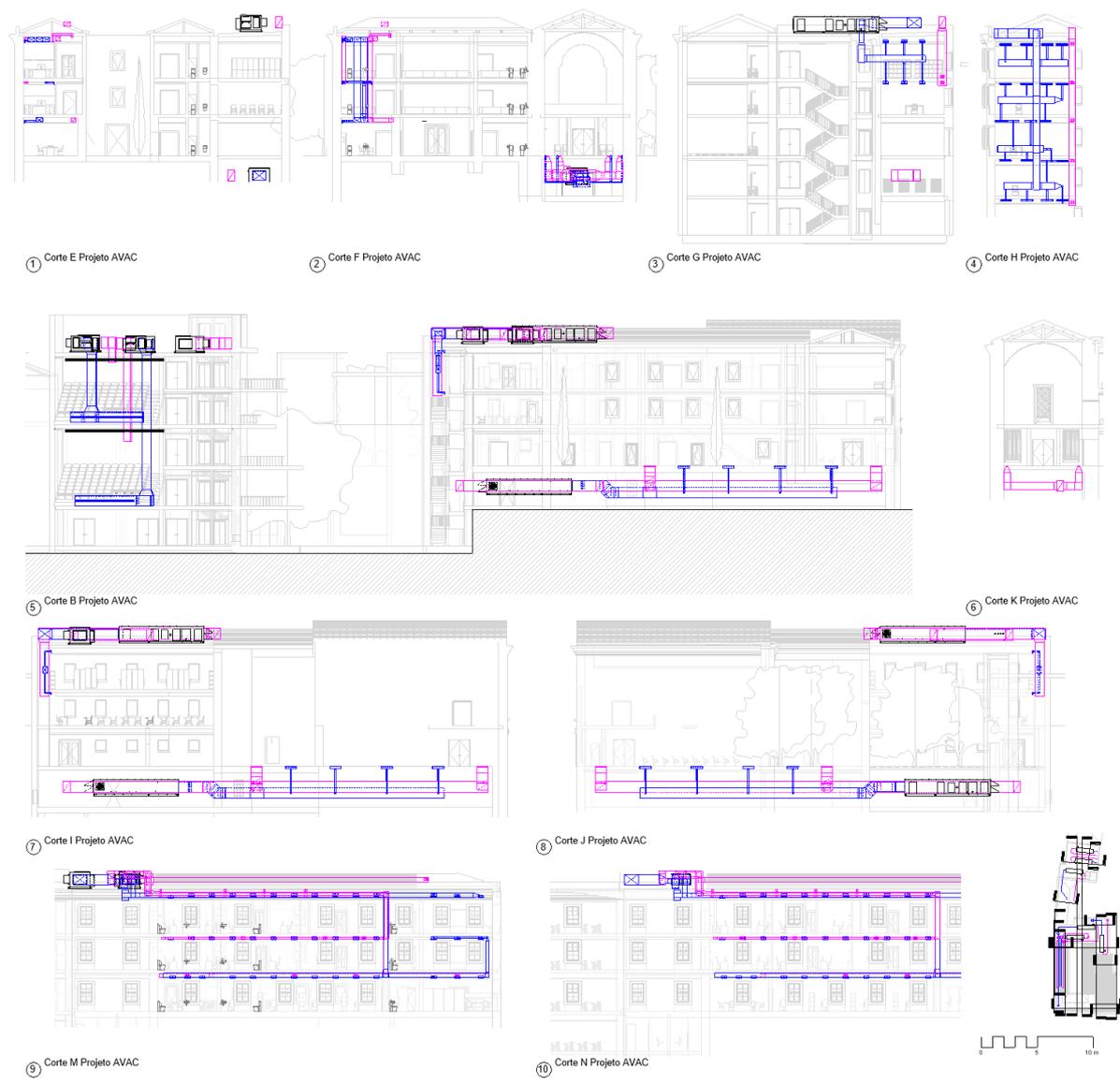


Figura 76 – Esquema de distribuição de AVAC – Cortes.

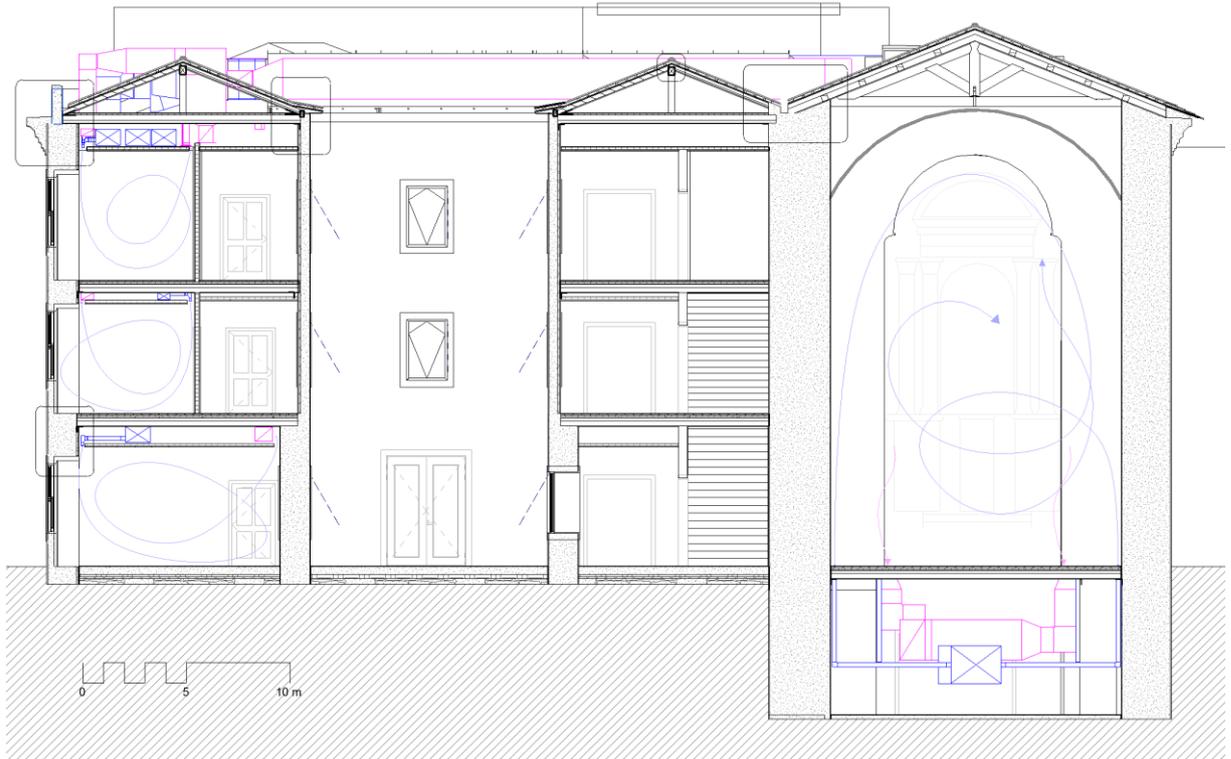


Figura 77 – Corte com esquema de insuflação e recolha de ar.



Figura 78 – Corte com esquema de insuflação e recolha de ar.

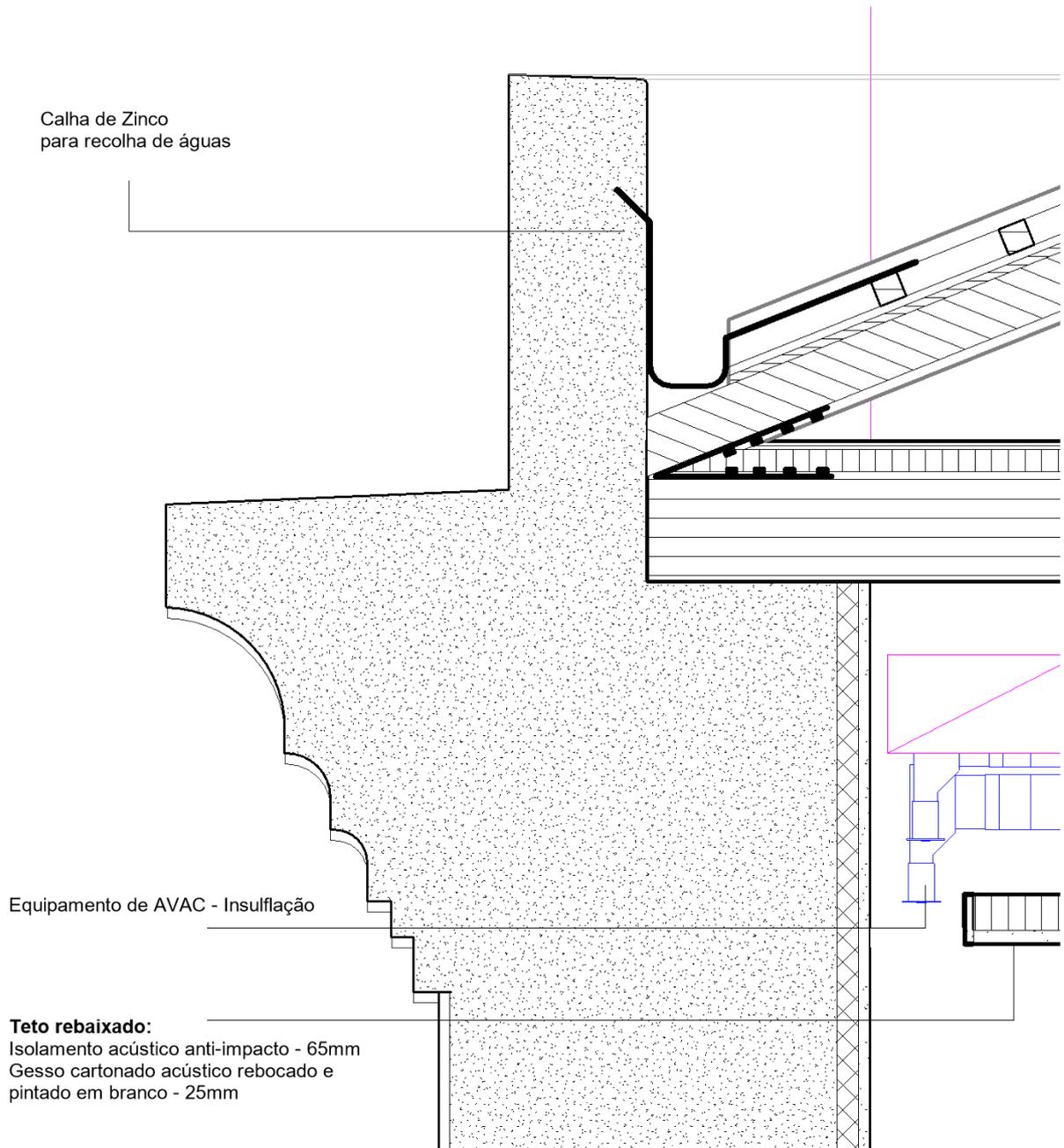


Figura 79 – Pormenor construtivo de sistema de AVAC do 2º piso.

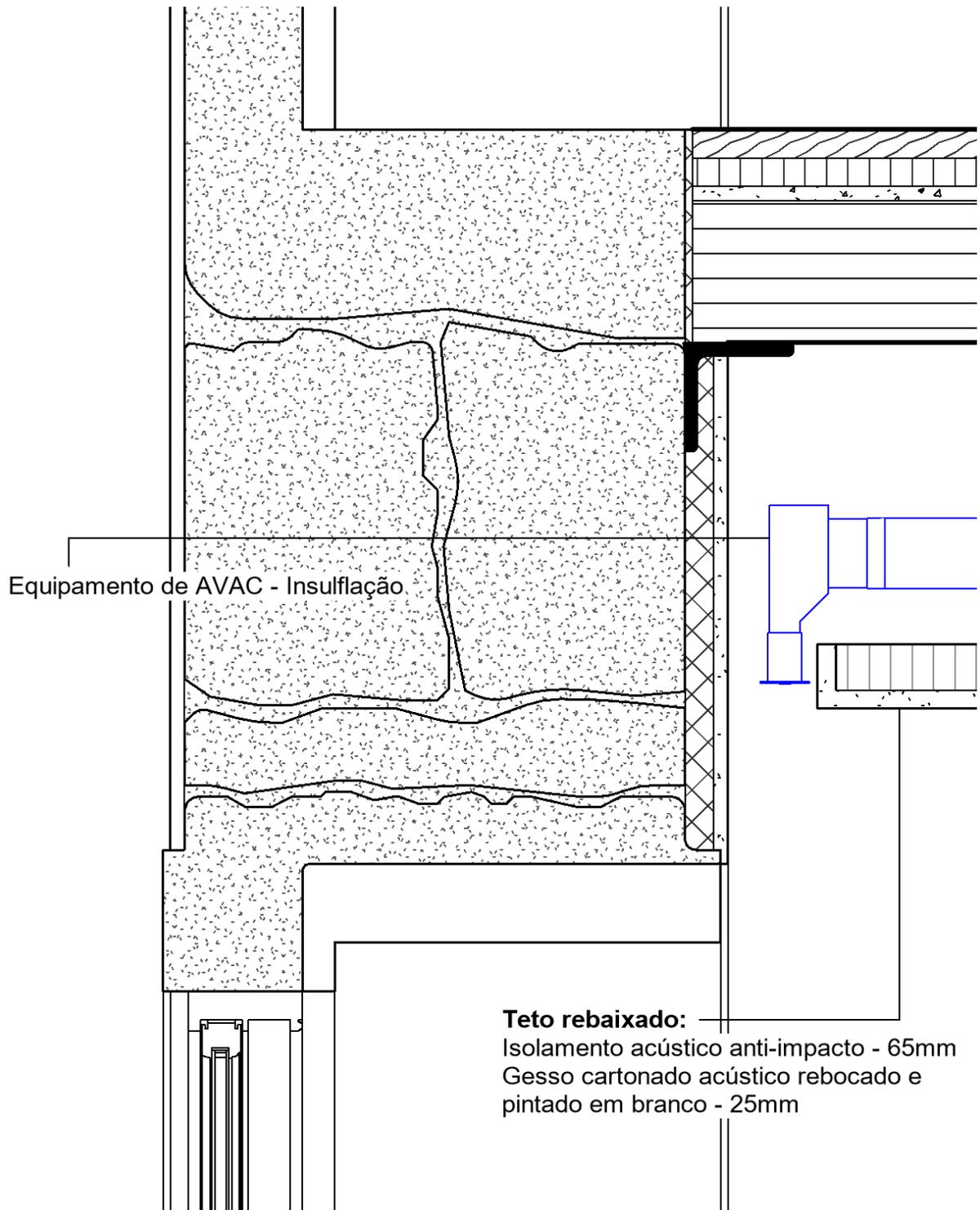


Figura 80 – Pormenor construtivo do sistema de fornecimento de ar do AVAC do piso 0.

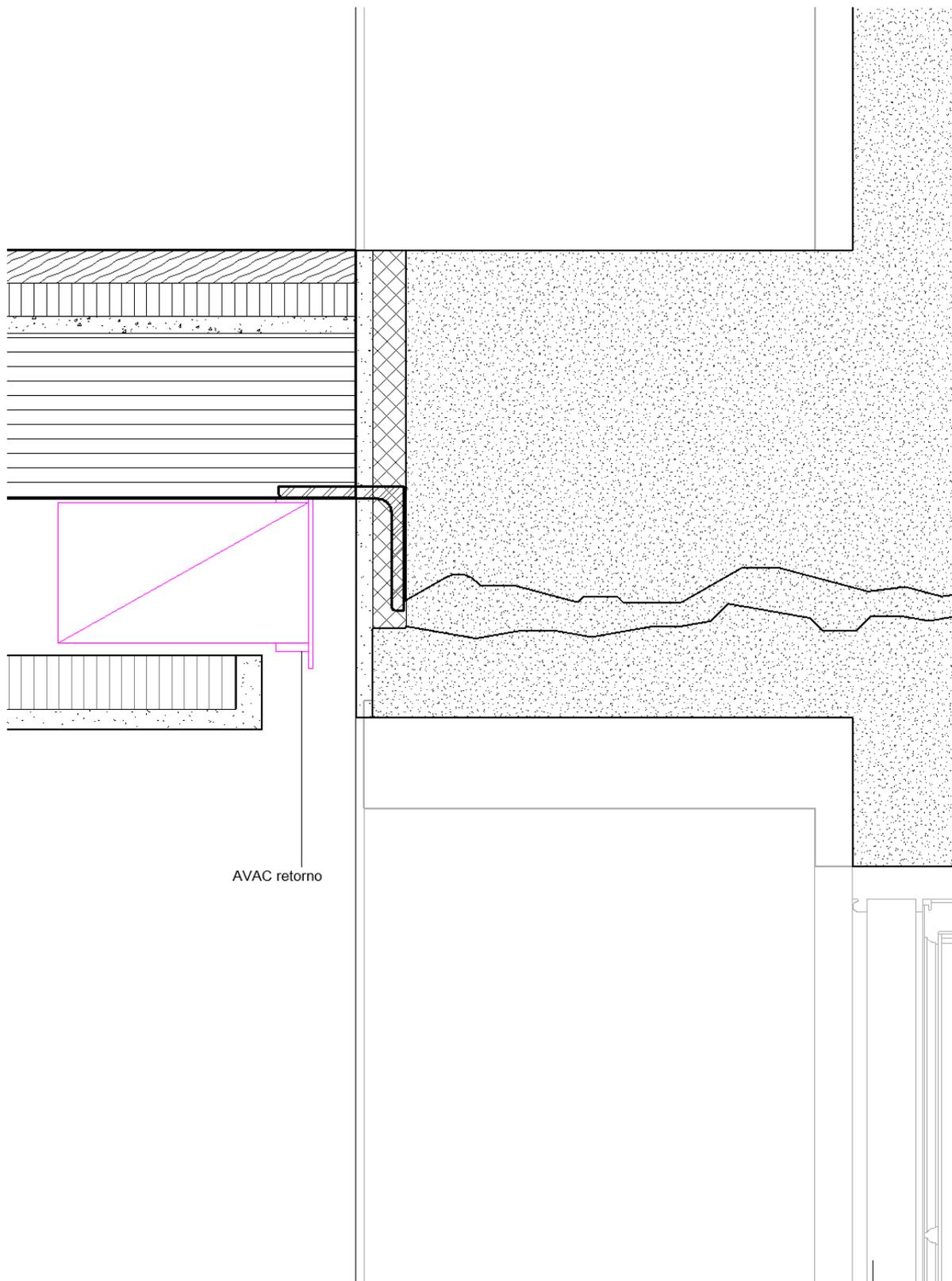


Figura 81 – Pormenor construtivo do sistema de retorno do AVAC do piso 0.

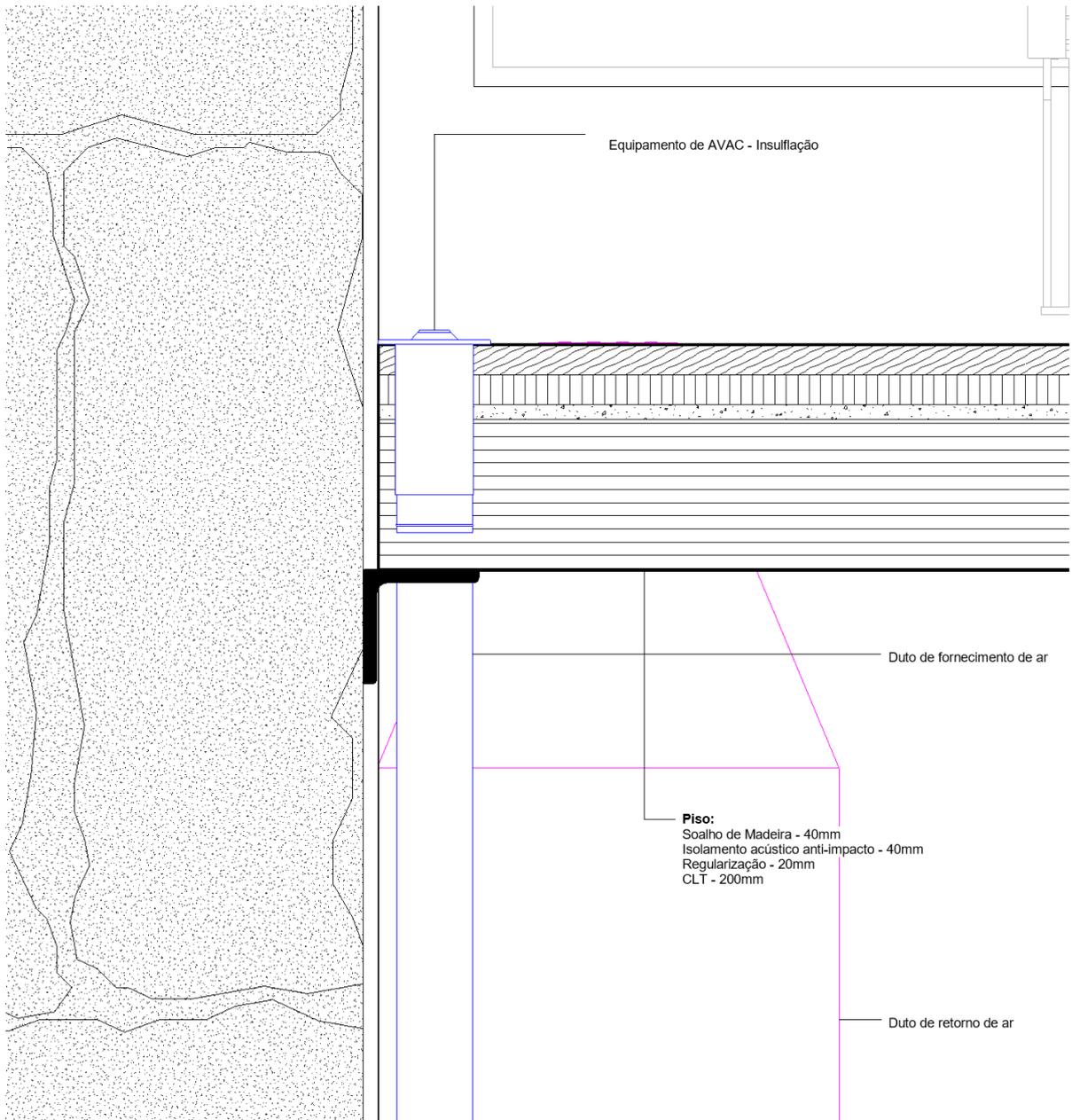


Figura 82 – Pormenor construtivo do sistema de AVAC da Capela.

As janelas atuais foram substituídas por umas com caixilharias de madeira com vidros duplos e foram introduzidas portadas de madeira para auxiliar no controlo da temperatura.

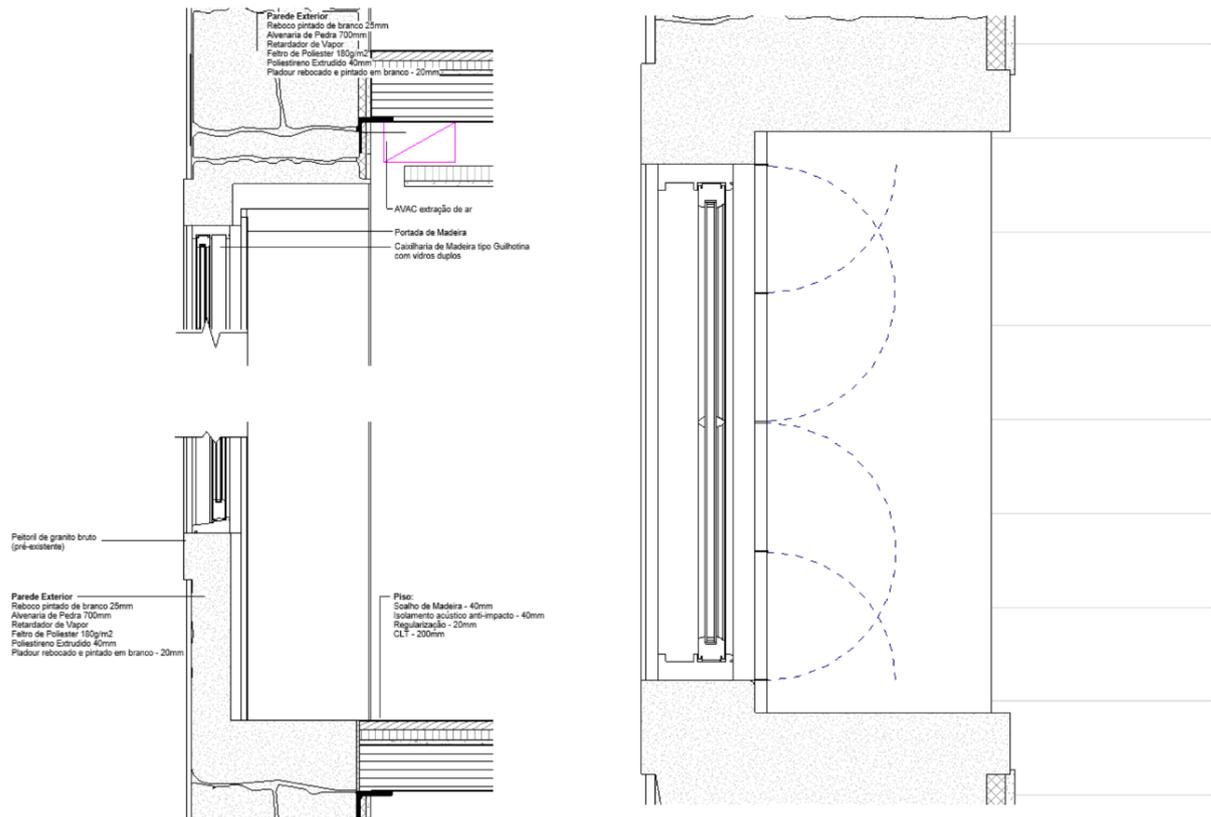


Figura 83 – Detalhes e planta de proposta de intervenção nas janelas.

No edifício anexo, por se tratar de uma edificação mais nova, como visto, e cujas características originais já estão totalmente eliminadas, optou-se por uma intervenção mais radical no sentido de quase como tratá-lo como uma construção de raiz.

Assim, a proposta segue no sentido de manter-se somente as paredes exteriores originais, tratada apenas para a térmica e para a acústica.

No mais, sugeriu-se uma releitura do edifício anexo que se une ao principal apenas por uma ligação em cada um dos pisos.

O uso de lajes leves com estrutura de CLT também foi a solução aqui tomada para garantir uma continuidade, leveza estrutural, e para eliminar as diferenças de cotas antes existentes entre os pisos destes edifícios.

Contudo, o uso deste “novo edifício” fica mais direcionado para dois auditórios e uma sala polivalente, de modo que, nestes espaços optou-se pelo sistema de difusão por deslocamento sob a laje de sustento aos assentos. Uma distribuição mais lenta, diluída e menos ruidosa ocorre, a partir daí, para dentro do ambiente a ser climatizado e tratado de modo a evitar ruídos indesejáveis para esta tipologia.

A recolha do ar, por sua vez, ocorre na parte superior da sala por meio de grelhas aparentes, evidenciando o caráter singular mais moderno deste edificado.

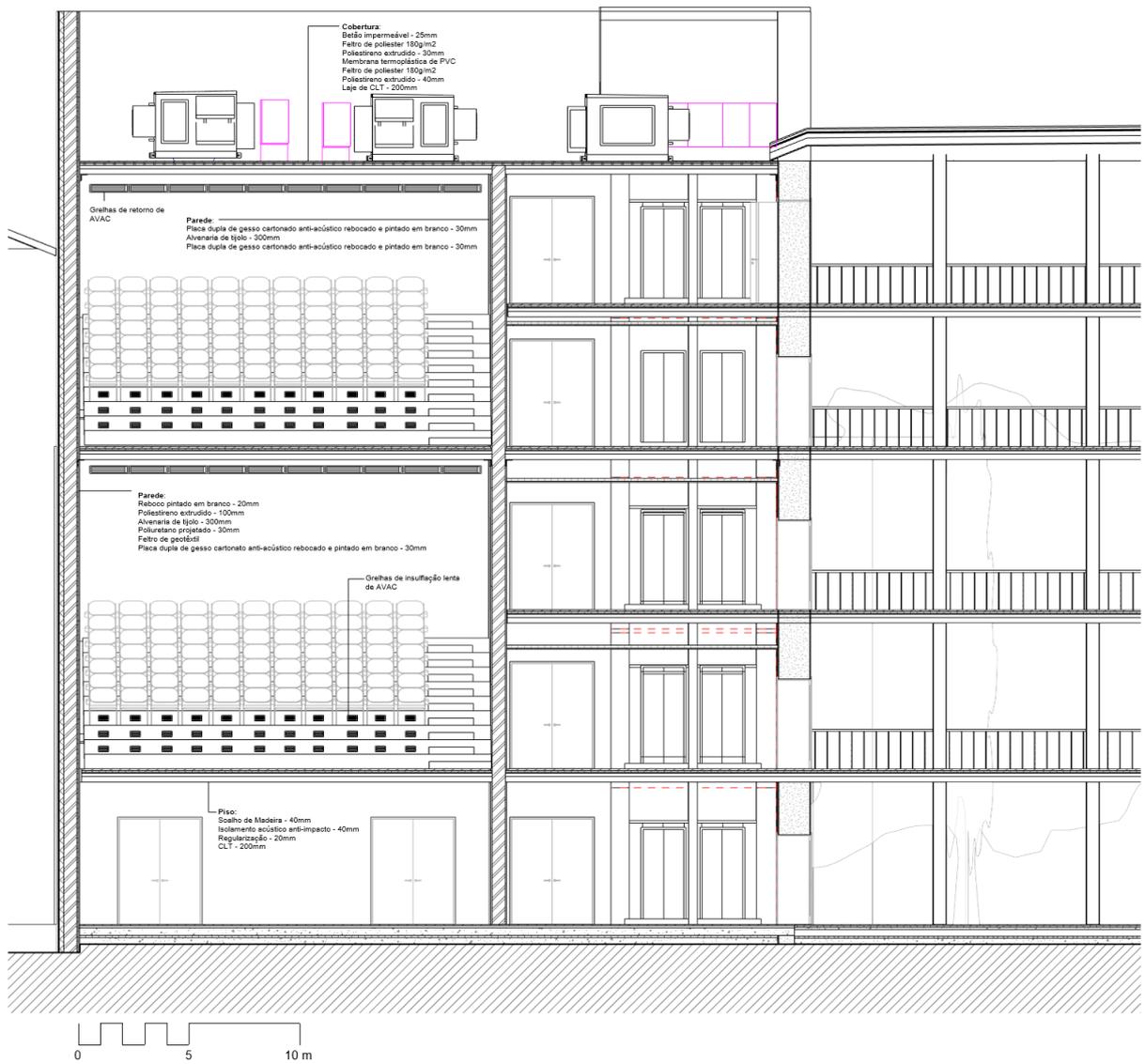


Figura 84 – Corte pela área dos auditórios.

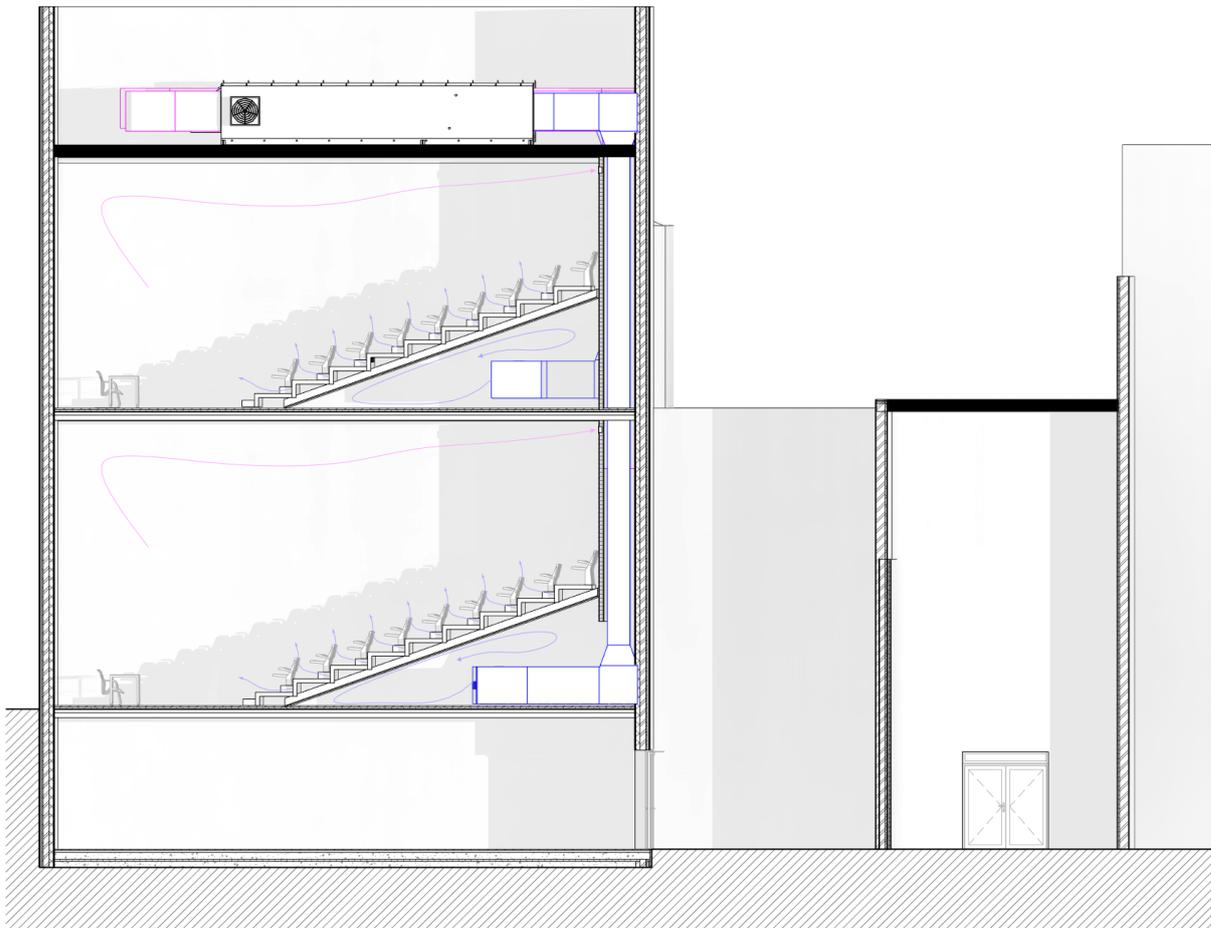


Figura 85 – Corte pelos auditórios com esquema de fornecimento e recolha de ar.

A sala polivalente, localizada no piso -2, não conta com sistema de AVAC por abrir-se diretamente a um pátio interior situado entre o edifício atual e aquele em vias de ser construído e projetado pelo arquiteto Eduardo Souto de Moura.

Assim, portanto, fica o projeto proposto para a reabilitação do campus principal e anexo da Universidade Lusófona do Porto.



Figura 86 – Plantas do programa referente à proposta de intervenção.

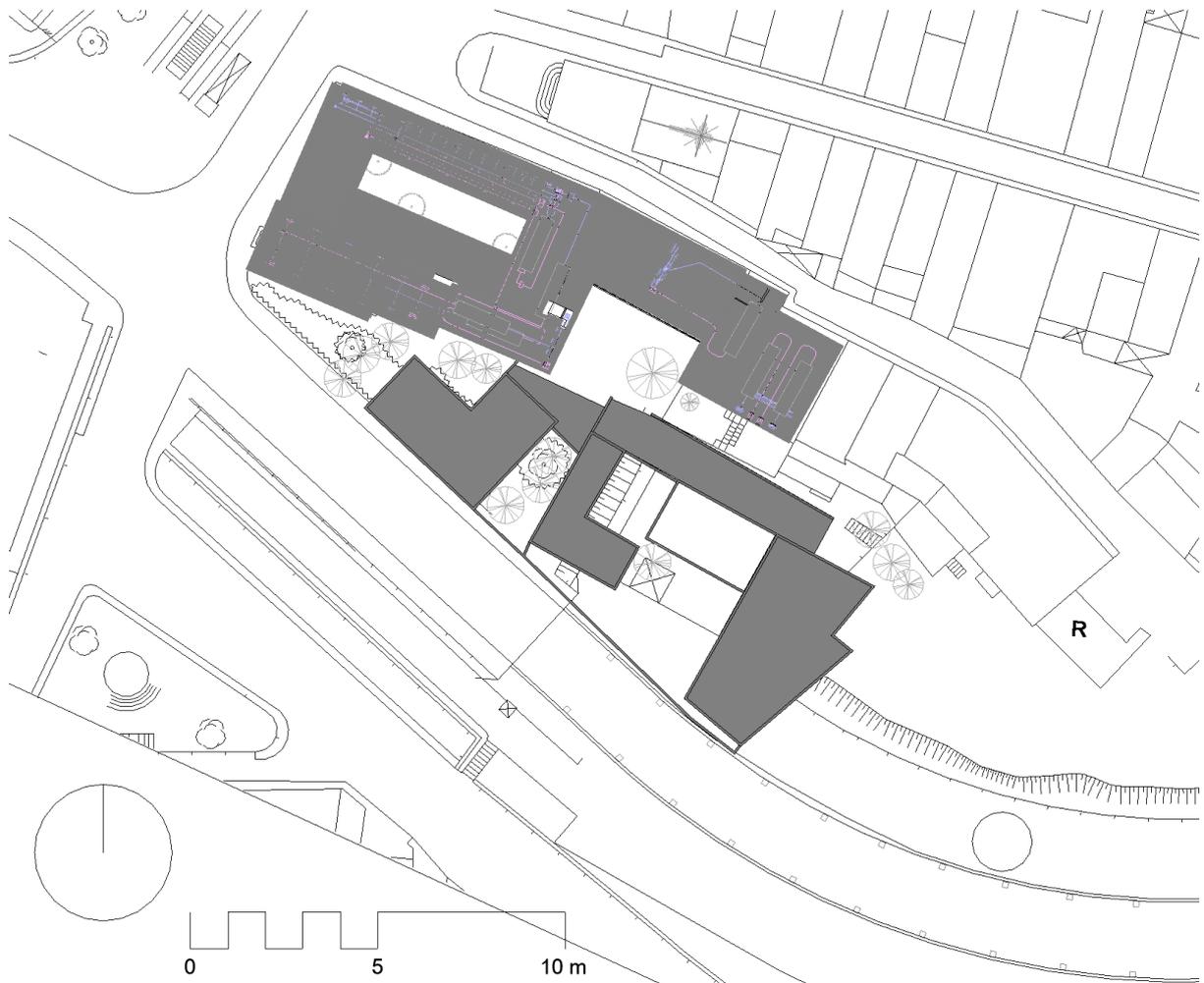


Figura 87 – Planta de Implantação.

Capítulo VII – Conclusão

O presente estudo teve como objetivo compreender os meios de introduzir elementos capazes de garantir a boa qualidade do ar interior e o conforto térmico em edifícios antigos a partir do processo de restauro, mais precisamente no caso prático do projeto proposto para a cadeira de Projeto 5, do quinto ano do curso de mestrado integrado em arquitetura da Universidade Lusófona do Porto, cujo objeto é a reabilitação do principal *campus* universitário desta mesma instituição e seu anexo.

Deste modo, para que o objetivo fosse alcançado o presente iniciou-se na sua Parte II com o Capítulo I, cujo objeto foi primeiramente o conforto térmico (I.1) seguido pela análise da qualidade do ar, da humidade, da condensação e das pontes térmicas (I.2).

A partir daí fez-se um estudo a respeito da qualidade do ar nos edifícios (I.3), seguido pela renovação do ar por convecção (I.4) e finalizado pela renovação mecânica do ar (I.5), tudo com objetivo a perceber-se os métodos não artificiais para obter um mínimo conforto térmico e uma renovação de ar capaz de garantir aos ambientes uma boa qualidade de ar.

Uma vez munidos das informações obtidas, e tendo em vista que concluiu-se que os meios naturais não são capazes, por si só, de garantir constante conforto térmico e boa qualidade de ar, partiu-se ao Capítulo II, o qual destinou-se a explorar os métodos de manipulação e controlo da temperatura e da qualidade do ar interior, tendo o subcapítulo II.1 sido dedicado ao controlo térmico a partir da radiação, dividindo-se em duas subsecções, uma primeira dedicada à radiação natural (II.1.1) e a seguinte aos meios artificiais de controlo de radiação (II.1.2).

O subcapítulo II.2 explorou o controlo da temperatura por mecanismos de água e vapor, seguido pelo estudo a respeito dos sistemas de condicionamento de ar (II.3), o qual, por seus métodos de funcionamento foram subdivididos, primeiramente por sistemas de ciclo de compressão (II.3.1), onde, por consequência lógica, acabou-se por dedicar uma nova subsecção para os sistemas de AVAC, haja vista sua alta complexidade de recorrente uso em construções de grande e médio porte (II.3.1.1).

Em seguida focou-se nos sistemas de ciclo de absorção (II.3.2) seguido de elementos comuns aos ciclos de compressão e absorção (II.3.3).

Por este estudo pode-se verificar a grande variedade de meios capazes de gerar uma melhoria na QAI dos edifícios, bem como de seu conforto térmico.

A Parte III contou com uma análise ao comportamento térmico e a qualidade do ar em edifícios antigos (Capítulo III), seguido de um exame a respeito da reabilitação destes e dos métodos para a melhoria da qualidade do ar e do conforto térmico nestes mesmo edificadros (Capítulo

IV), onde viu-se as diversas maneiras de intervenção, desde as mais intrusivas a uma menos evidenciadas.

A Parte IV, por sua vez, de caráter mais objetivo, buscou no Capítulo V três casos de estudo (V1. A Escola Básica e Secundária de Rodrigues de Freitas – Conservatório de Música do Porto; V.2 a Escola Secundária de Carolina Michaëlis; e V3, a Escola Secundária de Gabriel Pereira) os quais serviram de base para a tomada de decisões para a elaboração da proposta de reabilitação do *campus* da Universidade Lusófona do Porto.

O Capítulo VI cuidou do caso prático em si, onde concluiu-se que, por se tratar de um edifício antigo a ser reabilitado, muito embora ele tenha que ser visto como um todo, as soluções tomadas para a introdução de elementos de tratamento e condicionamento de ar precisam ser estudadas particularmente em cada ambiente além de ser levada em conta toda a envolvente do edifício e sua localização.

Isto ocorre porque os edifícios antigos, por não terem sido projetado com esta previsão, acabam por gerar peculiaridades em cada um dos seus ambientes, e a generalização de solução pode arruinar o projeto, de modo que um tratamento particular dado a cada espaço proporciona uma maior harmonia ao projeto de restauro e, conseqüentemente, a garantia de uma identidade mais coesa em todo o projeto final, tal como se buscou fazer no presente caso prático.

Assim, a conclusão a que se chega com o presente estudo é que, em reabilitação de edifícios antigos, a manutenção da identidade do edifício deve ser levada em conta quando da introdução de sistemas de tratamento e condicionamento de ar. E esta tarefa precisa de uma análise minuciosa de cada caso, desde os elementos construtivos que compõe o edificado a reabilitar, como sua relevância histórica e arquitetónica, toda sua envolvente e localização e, a depender do edifício objeto da intervenção proposta, é possível que cada espaço precise ser pensado individualmente para a melhor garantia da manutenção da identidade visual pré-existente do edificado, reduzindo-se, deste modo, o impacto das alterações introduzidas e com vias a permitir uma maior coerência e na identidade original da construção.

Referências Bibliográficas

- Alarcão, P. (2018). *Construir na ruína. Entre a reconstrução e a reabilitação*. Porto, Portugal: Edições Aforamento, Lda.
- Allen, E. (2016). *Como os edifícios funcionam - A ordem natural da arquitetura*. São Paulo, Brasil: Editora WMF Martins Fontes Ltda.
- Appleton, J. G. (2003). *Reabilitação de edifícios antigos - patologias e tecnologias de intervenção*. Amadora, Portugal: Edições Orion.
- Appleton, J. G. (2005). *Reabilitação de edifícios "Gaioleiros" - um quarteirão em Lisboa*. Amadora, Portugal: Edições Orion.
- Architektur Fachmagazin*. (11 de maio de 2023). Obtido de <https://www.architektur-online.com/projekte/endstation-kultur>
- Arquivo Municipal do Porto*. (09 de maio de 2023). Obtido de Gisaweb: <https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/337949/>
- Barata, F. (2018). Em P. Alarcão, *Construir na ruína - Entre a reconstrução e a reabilitação* (pp. 7-10). Porto, Portugal: Edições Aforamento.
- Braga, A. M., Piedade, A. C., & Rodrigues, A. M. (2009). *Térmica de edifícios*. Amadora, Portugal: Edições Orion.
- Casa en Ullastret. (2020). *El Croquis 203 - Harquitectes 2010/2020*, pp. 194-219.
- Casa Rauch. (2021). *El Croquis 209 - Roger Boltshauser - 2002-2021*, pp. 36-57.
- Centro de Investigación ICTA-ICP. UAB. (2020). *El Croquis 203 - Harquitectes 2010/2020*, pp. 96-119.
- Centro universitario en Copenhague (Dinamarca) - Movable Facade with Copper.Covered Shutters. (2018). *Arquitectura Viva 202.3/2018*, pp. 64-65.
- Chicano, A. M. (2011). Reforma de la Escuela Secundária Gabriel Pereira/Evora, Portugal - Renovation of Gabriel Pereira Secondary School. Em *Conarquitectura: rehabilitación*, n. 38 (pp. 73-78). Madrid, Espanha: Conarquitectura ediciones s.l.
- Chicano, A. M. (2022). Pabellón de ladrillo en dos tiempos. Em *Conarquitectura - Rehabilitación + cubierta inclinada de teja - n. 83* (pp. 20-33). Conarquitectura ediciones s.l.
- Chicano, A. M. (2022). Rehabilitación de la Casa de la Cultura como biblioteca y teatro. Em *Conarquitectura - Re-habilitación + cubierta inclinada de teja - n. 83* (pp. 14-19). Madrid: Conarquitectura ediciones s.l.
- Costa, A. A., & Fernandez, S. (2014). *Atelier 15*. Lisboa, Portugal: Uzina Books.
- Dicas & Esquemas*. (12 de outubro de 2023). Obtido de *Dicas & Esquemas*: <https://dicasesquemas.blogspot.com>

- Edifício de investigação GLC, ETH. (2021). *El Croquis 209 - Roger Boltshauser - 2002-2021*, pp. 294-311.
- EFS - *Engenharia Fiscalização e Serviço*. (21 de abril de 2023). Obtido de <https://www.efs.pt/pt/servico/3+88/liceu-carolina-michaelis/>
- Estudio de caso Casa de Acero. (2021). *El Croquis 209 - Roger Boltshauser - 2002-2021*, pp. 174-183.
- Freitas, V. P. (2012). *Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos*. Porto, Portugal: Ordem dos Engenheiros da Região Norte.
- Fuensana Nieto Y Enrique Sobejano - Ampliación del Museo Nacional de Escultura de Valladolid. (2008). *El Croquis 142 - Practicas Arquitectonicas*, pp. 24-37.
- Giebeler, G., Fisch, R., Krause, H., Muso, F., Petzinka, K.-H., & Rudolphi, A. (2009). *Refurbishment Manual - Maintance Conversions Extensions*. Berlin: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co.
- Heitor, T. (2011). *Parque escolar 2007-2011 - Intervenção em 106 escolas/Interventions in 106 schools*. Lisboa, Portugal: Parque Escolar, EPE.
- Keeler, M., & Vaidya, P. (2018). *Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis (2a ed.)*. (A. Salvaterra, Trad.) Rio Grande do Sul, Brasil: Bookman.
- Koolhaas, R. (2016). Encontrando liberdades. Em A. Zaera-Polo, *Arquitetura em diálogo (C. F. Knipel, Trad., pp. 15-48)*. São Paulo, Brasil: Ubu Editora.
- Lacroix, M. (s.d.). Em M. A. Veloso, *Espaços recriados*. Pontevedra, Espanha: Grupo Ascensores Enor, S.A.
- Lopes, J. C., & Ramalhete, F. (2019). *Fazer uma escola. Da/UAL 20 - To build a school. Da/UAL 20*. Lisboa, Portugal: Caleidoscópico Edição e Artes Gráfica, Lda.
- Mira, A. P. (2022). As infraestruturas na reabilitação de edifícios antigos. Dissertação apresentada ao Departamento de Arquitetura da Universidade Lusófona do Porto para obtenção do grau de mestre, orientada pelo professor João Carlos Martins Lopes dos Santos. Porto.
- Museo de Arte Nanjing Sifang. (2014). *El Croquis 172 - Steven Holl Architects 2008-2014 - conceptos y melodías*, pp. 236-251.
- Pabellón Escolar Allemenos II. (2021). *El Croquis 209 - Roger Boltshauser - 2002-2021*, pp. 72-88.
- Parque Escolar*. (26 de junho de 2023). Obtido de Parque Escolar: <https://parque-escolar.pt/pt/escola/028>
- Pimenta, J. (2009). *Escolas secundárias/Reabilitação - Secondary schools/Rehabilitation*. Casal de Cambra, Portugal: Caleidoscópico - Edição e Artes Gráficas, SA.

- Ramalhete, F. (2019). *Fazer uma escola. Da/UAL20 - To build a school DA/UAL20*. Lisboa, Portugal: Editora Celeidoscópio.
- Roriz, L. (2007). *Climatização - concepção, instalação e condução de sistemas*. Amadora, Portugal: Edições Orion.
- Sá, M. F. (18 de abril de 2023). Comunicação pessoal .
- Santos, A. J. (2018). *AVAC, um manual de apoio - Complementos*. Porto, Portugal: Quântica Editora.
- Santos, A. J. (2021). *AVAC, um manual de apoio - Fundamentos*. Porto, Portugal: Quântica Editora.
- Schittich, C. (. (2006). *ed Detail, Rehabilitación Reversión, Ampliación, Reconcepción*. Munique: Kösel Gmbh & Co. KG.
- Schittich, C. (. (2011). *in Detail Work Environments - Spatial concepts, usage strategies, communications*. Munique: Kösel Gmbh & Co. KG.
- Sistema de Informação para o Património Arquitetónico*. (09 de maio de 2023). Obtido de http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=23027
- Skyscraper City*. (21 de Abril de 2023). Obtido de <https://www.skyscrapercity.com/threads/europa-portugal-requalifica%C3%A7%C3%A3o-do-parque-escolar-p%C3%BAblico-em-portugal.1287073/>
- Távora, F. (1962). *Da organização do espaço* (9ª ed.). Porto, Portugal: Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto.
- Tectónica*. (27 de junho de 2023). Obtido de Tectónica: <https://tectonica.archi/articles/suelo-radiante-una-instalacion-termica-que-optimiza-la-tecnologia-tradicional/>
- Van Lengen, J. (2010). *Manual do arquiteto descalço*. Lisboa, Portugal: Dinalivro.
- Veloso, M. A. (s.d.). *Espaços recriados*. Pontevedra, Espanha: Grupo Ascensores Enor, S.A.
- Vidal, C. C. (2022). *A second life for buildings*. Barcelona, Espanha: Instituto Monsa de ediciones, S.L.