



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
de Tecnologia

Critérios de desempenho térmico e de iluminação natural para vãos envidraçados

O estudo de caso de uma unidade habitacional em Castelo Branco

Mayara Eunice Andrade Lopes Cardoso

Orientador

Profa. Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Área de Especialização em Construção Sustentável, realizada sob a orientação científica Professora Adjunta da Unidade Técnico Científica de Engenharia Civil Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Janeiro de 2023

Composição do júri

Presidente do júri

Grau académico, nome do presidente do júri”

Vogais

Grau académico, nome do presidente do júri”

Categoria profissional e o nome da Instituição

Grau académico, nome do presidente do júri”

Categoria profissional e o nome da Instituição

Grau académico, nome do presidente do júri”

Categoria profissional e o nome da Instituição

Agradecimentos

Agradeço a Deus em primeiro lugar pela dádiva da vida, pelas grandes oportunidades que me tem concedido e pela força de vontade.

À minha orientadora Profa. Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira pela disponibilidade, paciência e atenção que teve comigo ao longo do desenvolvimento deste trabalho, no apoio na solução dos problemas e ajuda na revisão do trabalho escrito.

À minha família, meus pais e meu irmão em especial, pelo apoio, encorajamento e amor incondicional no decorrer desta jornada que nem sempre foi fácil.

A todos os docentes do mestrado pela partilha de conhecimento e oportunidades de aprendizagem.

Aos amigos e colegas que estiveram comigo nos momentos bons e menos bons e me deram apoio e incentivo.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Um Muito Obrigada!

Resumo

A presente dissertação visa a conclusão do curso de mestrado em Engenharia Civil – Área de especialização em Construção Sustentável da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

O vão envidraçado para muitos pode simbolizar apenas um elemento integrante dos edifícios cuja finalidade é a entrada da luz natural e a comunicação com o ambiente exterior. Porém, este representa muito mais, na medida em que pode estar diretamente ligado com o conforto e bem-estar dos ocupantes. E nessa ótica, cada vez mais se desenvolvem estratégias que proporcionem conforto térmico ao edifício e seus ocupantes, trazendo materiais inovadores para a composição dos vãos envidraçados e aplicação de elementos de proteção solar, muitas vezes sem se atentar ao facto de que estes podem vir a afetar o desempenho da iluminação natural.

Neste contexto insere-se esta dissertação, que tem por objetivo avaliar a qualidade da iluminação natural e o desempenho térmico dos vãos envidraçados de um caso de estudo no seu estado original e seguidamente propor algumas alterações ao mesmo, na tentativa de entender como se dá a relação da componente térmica com componente da iluminação natural.

Foi realizada uma análise de alguns regulamentos que retratam os critérios da qualidade térmica dos vãos envidraçados e alguns sistemas de avaliação de sustentabilidade que definem exigências para os níveis de iluminação natural. Após consideração, foram escolhidos o regulamento e o sistema de avaliação que melhor se adequavam aos objetivos pretendidos neste trabalho.

Foram realizados cálculos para averiguar se os parâmetros térmicos se encontram conforme o exigido e a modelação tridimensional para uma análise dos parâmetros da iluminação natural por meio da ferramenta de simulação RELUX, a partir do qual foi possível ver a influência que alguns fatores da qualidade térmica têm na quantidade/qualidade de iluminação natural no interior dos compartimentos.

Os resultados podem direcionar futuras investigações na área de iluminação natural, na intenção de conciliá-la com a área de conforto térmico, pois pode ser importante na tomada de decisões e na busca de resultados satisfatórios para qualquer tipologia de edifício, mediante qualquer fase do projeto.

Palavras-chave

Vãos Envidraçados; Desempenho Térmico; Qualidade da Iluminação Natural, Ferramenta de simulação computacional; RELUX.

Abstract

This dissertation aims at the completion of the Master's degree in Civil Engineering - Specialization in Sustainable Construction of the School of Technology of the Polytechnic Institute of Castelo Branco.

The glazed space for many may symbolize only an integral element of buildings whose purpose is the entry of natural light and communication with the outside environment. However, it represents much more, as it can be directly linked to the comfort and well-being of the occupants. From this perspective, more and more strategies are being developed to provide thermal comfort to the building and its occupants, bringing innovative materials for the composition of the glazed areas and application of solar protection elements, often without paying attention to the fact that these can affect the performance of daylighting.

In this context, this dissertation aims to evaluate the daylighting quality and the thermal performance of the glazed windows of a case study in its original state and then propose some changes to it, in an attempt to understand the relationship between the thermal and daylighting components.

An analysis of some regulations that portray the criteria for the thermal quality of glazed spans and some sustainability evaluation systems that define requirements for daylighting levels was carried out. After consideration, the regulation and evaluation system that best suited the intended objectives of this work were chosen.

Calculations were performed to ascertain whether the thermal parameters are as required and three-dimensional modeling for an analysis of the daylighting parameters using the RELUX simulation tool, from which it was possible to see the influence that some thermal quality factors have on the amount/quality of daylighting inside the rooms.

The results can direct future investigations in the area of daylighting, with the intention of reconciling it with the area of thermal comfort, because it can be important in decision making and in the search for satisfactory results for any building typology, through any phase of the project.

Keywords

Glazed Spans; Thermal Performance; Daylight Quality; Computer simulation tool; RELUX.

Índice geral

1. Introdução	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos e organização do trabalho.....	2
2. Evolução e comportamento dos vãos envidraçados	4
2.1. Importância e evolução dos vãos envidraçados na arquitetura.....	4
2.2. Comportamento térmico dos vãos envidraçados.....	5
2.2.1. Transferência de calor.....	5
2.2.2. Coeficiente de transmissão térmica.....	9
2.2.3. Fator solar.....	11
2.3. Iluminação natural.....	12
2.3.1. Características dos materiais e a cor.....	15
2.3.2. Estratégias de iluminação natural nos edifícios.....	18
2.3.3. Métodos de cálculo, medições e simulações.....	20
2.4. Conclusões sobre os aspetos dos vãos envidraçados.....	26
3. Normalização e legislação vigente no âmbito dos vãos envidraçados	28
3.1. Introdução.....	28
3.2. REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto).....	28
3.2.1. Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados.....	29
3.2.2. Fator solar de vãos envidraçados.....	33
3.2.3. Fator de obstrução da radiação solar.....	38
3.3. RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas (Decreto-Lei 38:382 de 7 de agosto de 1951).....	42
3.4. Outros regulamentos e códigos existentes em países do sul da europa com exposição solar semelhante - Espanha.....	45
3.5. Conclusões sobre os regulamentos analisados.....	54
4. Metodologias de desempenho térmico e avaliação da qualidade da iluminação natural em edifícios residenciais	55
4.1. Sistemas de avaliação de sustentabilidade no âmbito dos vãos envidraçados.....	55
4.1.1. LEED.....	56
4.1.2. BREEAM.....	58

4.1.3. SBTTool.....	60
4.2. Ferramentas de simulação computacional de iluminação natural.....	61
4.2.1. Abordagem geral ao uso de simulação para iluminação.....	61
4.2.2. Ferramentas de simulação testadas/analizadas.....	71
4.3. Conclusões sobre metodologias para avaliação da qualidade da iluminação.....	74
5. Caso de estudo e metodologia aplicada.....	76
5.1. Apresentação do caso de estudo.....	76
5.2. Salubridade e disposições interiores.....	81
5.3. Definição das zonas climáticas de acordo com o REH.....	82
5.4. Qualidade térmica dos vãos envidraçados com base no REH.....	84
5.4.1. Coeficiente de transmissão térmica.....	84
5.4.2. Fator de obstrução da radiação solar.....	86
5.4.3. Fator solar.....	92
5.5. Iluminação Natural.....	94
5.5.1. Modelação da unidade habitacional.....	94
5.5.2. Resultado das simulações da iluminação natural da unidade habitacional.....	96
5.5.3. Análise comportamental da alteração de algumas variáveis no estudo da iluminação natural.....	108
6. Conclusões.....	120
6.1. Resumo do trabalho realizado.....	120
6.2. Considerações finais.....	120
6.3. Sugestões para futuros trabalhos.....	122
Referências bibliográficas.....	123
Anexos.....	125

Índice de figuras

Figura 1 - Trocas de calor nos vãos envidraçados.....	6
Figura 2 - Condutividade de vários materiais.....	7
Figura 3 - Espectro das radiações eletromagnéticas.....	8
Figura 4 - Fenômenos de transferência de calor num sistema envidraçado constituído por dois panos de vidro, separados por uma cavidade de ar (para $T_e > T_i$).....	9
Figura 5 - Fontes da luz natural distribuída no ambiente interno.....	13
Figura 6 - Modelos de Céu - A: Céu limpo; B: Céu intermédio; C: Céu encoberto.....	14
Figura 7 - Diferença de Disponibilidade de Luz: Céu Limpo e Céu Encoberto	14
Figura 8 - Trajetória do Sol no Inverno, no Equinócio e no Verão em locais com latitude de 40°N e 65° N.....	15
Figura 9 - Reflexão da Luz - A: Reflexão Especular; B: Reflexão Dispersa; C: Reflexão Difusa.....	16
Figura 10 - Combinações de diferentes tipos de reflexão - A: Reflexão Difusa e Especular; B: Reflexão Difusa e Dispersa; C: Reflexão Especular e Dispersa.....	16
Figura 11 - Refração da luz ocorrido num vidro mais denso que o ar.....	17
Figura 12 - Exemplos de soluções para melhor aproveitamento da luz natural.....	19
Figura 13 - A: Relação da Altura da Abertura e Profundidade do Ambiente; B: Melhoria de 0,50m da distribuição da luz no ambiente com uso de prateleira de luz.....	19
Figura 14 - Diferença de distribuição da luz natural em diferentes tipos e posições de janela.....	20
Figura 15 - Representação do fluxo luminoso de um lúmen emitido por fonte luminosa.....	21
Figura 16 - Representação geral do sistema luminoso.....	22
Figura 17 - Representação do fluxo luminoso de 1 lúmen que incide sobre uma área de 1 metro quadrado e produz o uma iluminância de 1 lux.....	22
Figura 18 - Representação da intensidade luminosa refletida por uma superfície dividida pela área visível aos olhos denominada luminância.....	23
Figura 19 - Representação do método de medição do FLD.....	24
Figura 20 - Representação da medição da refletância de uma superfície opaca (ρ_s).....	24
Figura 21 - Representação da medição da transmitância de uma superfície transparente (τ_v).....	25
Figura 22 - Ângulo do horizonte, α	39
Figura 23 - Aproveitamento da luz natural para envidraçados onde o ângulo o edifício obstáculo é superior a 65 graus.....	52
Figura 24 - Aproveitamento da luz natural para envidraçados voltados para pátios descobertos.....	52

Figura 25 - Aproveitamento da luz natural para envidraçados voltados para pátios ou átrios cobertos por outros envidraçados.....	53
Figura 26 - Exemplo do resultado obtido pela simulação: A) imagem sintetizada; B) imagens analíticas.....	62
Figura 27 - Fluxograma de fatores envolvidos na simulação computacional da iluminação.....	63
Figura 28 - Metodologia de estudo proposta por Christakou	65
Figura 29 - Imagem satélite da localização do edifício.....	76
Figura 30 - Fachada frontal do edifício e identificação da unidade habitacional em estudo (a vermelho).....	77
Figura 31 - Planta da unidade habitacional (2ºesquerdo) e disposição da mesma no andar	77
Figura 32 - Planta da unidade habitacional com identificação das janelas e principais dimensões dos compartimentos	80
Figura 33 - Ângulo de sombreamento por elementos verticais (direito e esquerdo) nas janelas do Quarto 1, Quarto 2, Escritório e Cozinha.....	87
Figura 34 - Ângulo de sombreamento por elementos verticais (direito - 23º e esquerdo - 13º) na janela do Quarto 3.....	87
Figura 35 - Ângulo de sombreamento por elementos horizontais nas janelas do Quarto 1, Quarto 2, Quarto 3, Escritório e Cozinha	87
Figura 36 - Ângulo de sombreamento por elementos horizontais na janela da Sala.....	88
Figura 37 - Ângulo de sombreamento por elementos verticais (direito - 51º e esquerdo - 33º) na janela da Sala.....	88
Figura 38 - Modelo da habitação elaborado para a simulação.....	95
Figura 39 - Inserção de alguns prédios localizados no entorno da habitação em estudo.....	95
Figura 40 - Modelo tridimensional da Sala e identificação das paredes em planta.....	98
Figura 41 - Modelo tridimensional da Cozinha e identificação das paredes em planta.....	100
Figura 42 - Modelo tridimensional do Escritório e identificação das paredes em planta.....	102
Figura 43 - Modelo tridimensional do Quarto 1 e identificação das paredes em planta.....	104
Figura 44 - Modelo tridimensional do Quarto 2 e identificação das paredes em planta.....	105
Figura 45 - Modelo tridimensional do Quarto 3 e identificação das paredes em planta.....	107
Figura 46 - Comparação dos Fatores Luz-Dia médios entre os cenários original e cenário rés de chão.....	111
Figura 47 - Modelo tridimensional do vão envidraçado do escritório com alterações que visam a qualidade do conforto térmico	116

Figura 48 - Iluminâncias média e mínima do escritório	118
Figura 49 - Fatores Luz-Dia do escritório para o cenário original e para o cenário com alterações no vão envidraçado	119

Lista de tabelas

Tabela 1 - Valor de Ψ para diferentes tipos de caixilharia e de vidros.....	10
Tabela 2 - Refletâncias de alguns materiais.....	17
Tabela 3 - Transmitância e refletância de alguns tipos de vidro.....	18
Tabela 4 - Iluminâncias recomendadas consoante o tipo de atividade, segundo a CIE.....	26
Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica de referência dos vãos envidraçados, U_{ref}	30
Tabela 6 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia de madeira	30
Tabela 7 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia de metálica sem corte térmico.....	31
Tabela 8 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia metálica com corte térmico.....	31
Tabela 9 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia de plástico	32
Tabela 10 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{\perp, vi}$	34
Tabela 11 - Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc}	35
Tabela 12 - Coeficiente de absorção da radiação solar, a	35
Tabela 13 - Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, F_{mv}	36
Tabela 14 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w, v}$	37
Tabela 15 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, $g_{Tmáx}$	38
Tabela 16 - Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j	39
Tabela 17 - Valores do fator de sombreamento do horizonte F_h na estação de aquecimento.....	40
Tabela 18 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de aquecimento.....	41
Tabela 19 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de arrefecimento.....	41
Tabela 20 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de aquecimento.....	41
Tabela 21 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de arrefecimento.....	42
Tabela 22 - Fração envidraçada, F_g	42
Tabela 23 - Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica [W/m ² .°C].....	46
Tabela 24 - Zonas climáticas de alguns distritos/províncias da Espanha	47

Tabela 25 - Coeficiente de transmissão térmica linear para os vidros e para as caixilharias [$W/m \cdot ^\circ C$]	47
Tabela 26 - Fator solar do vão envidraçado sem dispositivo de proteção ativo ($ggl; wi$).....	48
Tabela 27 - Fator solar de vãos envidraçados com dispositivos de proteção móvel ativados ($ggl; sh; wi$)	49
Tabela 28 - Fator solar do dispositivo de proteção ($\tau e, B$) e fator de reflexão do dispositivo de proteção ($\rho e, B$)	49
Tabela 29 - Coeficiente de transmissão térmica do vidro (Ugl)	49
Tabela 30 - Eficiência da proteção solar em função do valor de $ggl; sh; wi$... 50	
Tabela 31 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($Fsh, obst$): Varandas ou palas horizontais.....	50
Tabela 32 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($Fsh, obst$): Recuos.....	51
Tabela 33 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($Fsh, obst$): Lâminas horizontais.....	51
Tabela 34 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($Fsh, obst$): Lâminas verticais.....	51
Tabela 35 - Valor máximo do coeficiente de transmissão térmica (U) e fator de ganhos solares de acordo com a zona climática	56
Tabela 36 - Zonas climáticas de Portugal	57
Tabela 37 - Requisitos de iluminância para edifícios habitacionais	59
Tabela 38 - Requisitos do Fator Luz-Dia médio para edifícios habitacionais consoante a latitude.....	59
Tabela 39 - Fator Luz-Dia para unidades residenciais em função dos benchmarks	60
Tabela 40 - Principais ferramentas de simulação de iluminação natural.....	64
Tabela 41 - Base para os critérios de avaliação adotados e seus respetivos pesos.....	66
Tabela 42 - Tipologia e dimensões dos vãos envidraçados.....	79
Tabela 43 - Composição dos vãos envidraçados.....	80
Tabela 44 - Área dos envidraçados em relação à área do compartimento em que está inserido	82
Tabela 45 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno	83
Tabela 46 - Critérios para a determinação da zona climática de verão.....	83
Tabela 47 - Parâmetros climáticos para a estação de aquecimento.....	83
Tabela 48 - Parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento.....	83
Tabela 49 - Zonas climáticas de Inverno e de Verão do caso de estudo	84
Tabela 50 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado sem dispositivo de oclusão noturna Uw	85
Tabela 51 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com dispositivo de oclusão noturna Uws	85

Tabela 52 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica média dia-noite do vão envidraçado U_{wdn}	85
Tabela 53 - Verificação dos valores máximos e de referência do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados e do coeficiente de transmissão térmica média dia-noite dos vãos envidraçados.....	86
Tabela 54 - Fatores de sombreamento horizontais, verticais e do horizonte na estação de aquecimento	89
Tabela 55 - Fator de obstrução na estação de aquecimento.....	89
Tabela 56 - Fatores de sombreamento horizontais, verticais e do horizonte na estação de arrefecimento	90
Tabela 57 - Fator de obstrução na estação de arrefecimento.....	90
Tabela 58 - Verificação do efeito de sombreamento provocado pelo contorno do vão para a estação de aquecimento.....	90
Tabela 59 - Verificação do efeito de sombreamento provocado pelo contorno do vão para a estação de arrefecimento	91
Tabela 60 - Verificação do produto $X_j.F_h.F_o.F_f$ para a estação de aquecimento.....	91
Tabela 61 - Verificação do produto $X_j.F_h.F_o.F_f$ para a estação de arrefecimento.....	91
Tabela 62 - Fator solar global dos vãos envidraçados com as proteções solares totalmente ativadas	92
Tabela 63 - Fator solar dos vãos envidraçados para a estação de aquecimento	92
Tabela 64 - Fator solar dos vãos envidraçados para a estação de arrefecimento.....	92
Tabela 65 - Fator solar global dos vãos envidraçados com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.....	93
Tabela 66 - Verificações das áreas dos envidraçados em relação às áreas dos pavimentos dos compartimentos	93
Tabela 67 - Verificação dos fatores solares máximos admissíveis	94
Tabela 68 - Características físicas e valores de refletância dos materiais	96
Tabela 69 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Sala às 9h	98
Tabela 70 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Sala às 15h	98
Tabela 71 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Sala.....	99
Tabela 72 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Cozinha às 9h	101
Tabela 73 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Cozinha às 15h.....	101
Tabela 74 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Cozinha	101
Tabela 75 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Escritório às 9h	102

Tabela 76 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Escritório às 15h	103
Tabela 77 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Escritório	103
Tabela 78 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 1 às 9h.....	104
Tabela 79 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 1 às 15h.....	104
Tabela 80 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 1	105
Tabela 81 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 2 às 9h.....	106
Tabela 82 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 2 às 15h.....	106
Tabela 83 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 2	106
Tabela 84 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 3 às 9h.....	107
Tabela 85 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 3 às 15h.....	107
Tabela 86 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 3	108
Tabela 87 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Sala considerando a habitação situada no rés-de-chão	109
Tabela 88 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Cozinha considerando a habitação situada no rés-de-chão	109
Tabela 89 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Escritório considerando a habitação situada no rés-de-chão	110
Tabela 90 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 1 considerando a habitação situada no rés-de-chão	110
Tabela 91 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 2 considerando a habitação situada no rés-de-chão	111
Tabela 92 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 3 considerando a habitação situada no rés-de-chão	111
Tabela 93 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado do Escritório sem dispositivo de oclusão noturna (U_w).....	113
Tabela 94 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado do Escritório com dispositivo de oclusão noturna (U_{ws}).....	113
Tabela 95 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado do Escritório (U_{wdn}).....	114
Tabela 96 - Fator solar global do vão envidraçado do Escritório com as proteções solares totalmente ativadas.....	114

Tabela 97 - Fator solar do vão envidraçado do Escritório na estação de aquecimento.....	115
Tabela 98 - Fator solar do vão envidraçado do Escritório na estação de arrefecimento.....	115
Tabela 99 - Fator solar global do vão envidraçado do Escritório com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.....	115
Tabela 100 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Escritório às 9h (com alterações).....	117
Tabela 101 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Escritório às 15h (com alterações).....	117
Tabela 102 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Escritório (com alterações)	117
Tabela 103 - Iluminâncias do Escritório às 9h - Comparação entre o cenário original e o cenário com alterações.....	118
Tabela 104 - Iluminâncias do Escritório às 15h - Comparação entre o cenário original e o cenário com alterações.....	118
Tabela 105 - Fator Luz-Dia do Escritório - Comparação entre o cenário original e o cenário com alterações.....	119

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

A_{env} – Soma das áreas dos vãos envidraçados do compartimento, [m²]

A_f – Área do caixilho, [m²]

A_g – Área do vidro, [m²]

A_p – Área do pavimento útil interior, [m²]

A_{pav} – Área de pavimento do compartimento, [m²]

A_s – Superfície do elemento [m²]

A_w – Área total do vão envidraçado, [m²]

CIE – *Commission Internationale de L'éclairage* – Comissão Internacional de Iluminação

e – Espessura do vidro [m]

FLD – Fator Luz-Dia [%]

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão envidraçado

F_s – Fator de obstrução do vão envidraçado

$F_{w,v}$ – Fator de correção de seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento

GD – Números de graus-dias, [°C.dia]

g_i – Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar totalmente ativados

$g_{Tmáx}$ – Fator solar global máximo admissível nos vãos envidraçados

g_{Tp} – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes

g_{tvc} – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vidro conforme informação do fabricante

g_v – Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento

h_{conv} – Condutância térmica superficial local por convecção [W/m².°C]
 lg – Perímetro de ligação entre a caixilharia e o vidro, [m]
 Q_{cond} – Fluxo de calor por condução [W]
 R_{se} – Resistência térmica superficial exterior igual a 0,04 [(m².°C)/W]
 R_{si} – Resistência térmica interior igual a 0,13 [(m².°C)/W]
 S – Área de superfície do elemento ou corpo [m²]
 T_f – Temperatura característica do fluido [°C]
 T_e, T_i – Temperaturas superficiais do elemento [°C]
 T_s – Temperatura da superfície exposta do sólido [°C]
 U – Coeficiente de transmissão térmica superficial, [W/(m².°C)]
 U_f – Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia, [W/(m².°C)]
 U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro, [W/(m².°C)]
 $U_{máx}$ – Coeficiente de transmissão térmica superficial máximo admissível [W/(m².°C)]
 U_n – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado mais proteção, [W/(m².°C)]
 U_s – Coeficiente de transmissão térmica da janela sem dispositivo de proteção solar/occlusão noturna [W/(m².°C)]
 U_w – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, [W/(m².°C)]
 U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite, [W/(m².°C)]
 X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições
 ΔR – Resistência térmica adicional, [(m².°C)/W]
 α – Coeficiente de absorção
 δ – Coeficiente de transmissão
 ε – Emissividade
 $\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média, [°C]
 λ – Condutibilidade térmica do elemento [W/(m.°C)]
 ρ – Coeficiente de reflexão
 ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear, [W/(m.°C)]
 ψ_g – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre a caixilharia e o vidro, [W/(m.°C)]

1. Introdução

1.1. Motivação

O vidro vem, sem dúvidas, se tornando um dos elementos com mais interesse para a arquitetura, demonstrando ser um dos materiais que mais permite libertar a criatividade dos projetistas. A sua utilização confere aos edifícios características modernas, promove enriquecedoras possibilidades de formatos e permite combinações com materiais de tipologias diversas. A sua aplicação nas envolventes dos edifícios pode ser em pequena proporção, como no caso de portas e janelas, em grande proporção de modo a apresentar fachadas quase que completamente envidraçadas ou ainda o próprio edifício praticamente envidraçado.

Os elementos envidraçados são soluções que permitem melhores condições de habitabilidade dos espaços através da maior transparência e luminosidade dos ambientes internos, a contemplação da paisagem externa e uma leitura mais homogênea da estética exterior do edificado. No entanto, dependendo da forma em que forem concebidos, os elementos envidraçados podem garantir desempenhos térmicos e energéticos satisfatórios, ou não. O uso de vidros traz consigo um efeito estético agradável e aos edifícios, mas, de facto, os vãos envidraçados são os elementos da envolvente exterior por onde ocorrem mais perdas de calor no inverno e maiores ganhos solares no verão.

Verifica-se atualmente um aumento das exigências regulamentares quanto à qualidade térmica dos elementos envidraçados e, conseqüentemente a busca por vãos envidraçados com ótimos desempenhos térmicos, contudo, pouco se ouve falar da busca pela qualidade da iluminação natural e como uma componente pode vir a interferir noutra.

A seleção cautelosa do tipo de vidro, das dimensões, da orientação e a utilização de proteções solares/dispositivos de sombreamento nos sistemas envidraçados são umas das formas de se obter um bom comportamento térmico para os vãos envidraçados. No entanto, há que se conhecer se estes e/ou outros fatores podem vir a ter influência na qualidade da luz natural nos ambientes internos e se podem vir a comprometer de alguma forma a iluminação natural destes.

Este trabalho vem como um contributo para um melhor conhecimento da influência dos sistemas envidraçados e elementos de proteção solar sob o conforto térmico e sob a iluminação natural do ambiente interior.

1.2. Objetivos e organização do trabalho

Tendo em mente as preocupações com o conforto do ambiente interior, este trabalho tem como objetivo principal conduzir um estudo que vai verificar o comportamento térmico e de iluminação natural de um caso de estudo de uma unidade habitacional no seu cenário base e posteriormente propor algumas alterações à habitação ou alterações restritas aos vãos envidraçados como forma de identificar os casos com desempenho térmico e níveis de iluminação natural satisfatórios.

O trabalho segue três fases que se complementam e fundamentam este estudo. Na primeira fase elabora-se uma contextualização acerca da importância e evolução dos vãos envidraçados na arquitetura, de seguida, através de uma pequena abordagem teórica dá-se a conhecer os fenómenos de transferência de calor que ocorrem nos vãos envidraçados e de metodologias (nacionais e/ou europeias) de cálculo utilizadas para estes mesmos fenómenos.

Numa segunda fase será feita uma análise das legislações nacionais vigentes que determinarão os requisitos impostos na área do desempenho térmico e de iluminação dos vãos envidraçados que servirão de base para a análise dos casos de estudo. Serão ainda levados em consideração os regulamentos e códigos de outros países do sul da Europa com uma exposição solar semelhante. Esta fase será ainda complementada com a exploração de alguns sistemas de avaliação de sustentabilidade que, de igual forma, possibilitarão a compreensão de outras exigências importantes no que toca à sustentabilidade e que se encontram relacionadas com o desempenho térmico e de iluminação dos vãos.

Por fim, através da definição de um caso de estudo, tenciona-se avaliar a qualidade da iluminação natural e o desempenho térmico dos vãos envidraçados, comparando os resultados para o caso de estudo no seu estado original com os resultados alcançados mediante algumas alterações ao caso, com o intuito de perceber como se dá a ligação da componente térmica com a componente da iluminação natural. Para isso, pretende-se elaborar cálculos com o propósito de verificar se os parâmetros térmicos se encontram consoante o exigido e efetuar a modelação tridimensional do caso de estudo para uma análise dos parâmetros da iluminação natural com o auxílio de uma ferramenta de simulação computacional, a partir do qual será possível ver a ação que alguns fatores da qualidade térmica poderão exercer na quantidade/qualidade de luz natural no espaço interior.

Para tal, este trabalho se encontra estruturado em seis capítulos, sendo que cada um apresenta a seguinte informação:

O presente capítulo que apresenta as considerações iniciais, os objetivos do trabalho, a sua estruturação e algumas considerações gerais relacionadas com os temas em estudo.

No capítulo 2 faz-se uma pequena introdução teórica sobre os vãos envidraçados e os mecanismos de transferência de calor que acontecem nos mesmos.

No capítulo 3 e 4 será apresentada uma revisão bibliográfica através da consulta de regulamentos e sites informativos com o propósito de conhecer os requisitos e parâmetros definidos nas legislações (por exemplo o REH, RGEU) nas tabelas técnicas (como o ITE50), nos sistemas de avaliação da sustentabilidade (LEED, BREEAM e SBTool), e ainda regulamentos e códigos de Espanha que abordam a temática do desempenho térmico e de iluminação dos vãos envidraçados.

No quinto capítulo será conduzido um estudo de caso com uma fração habitacional, sendo analisada sua condição de salubridade e disposição interior, seu desempenho térmico e de iluminação natural sob diferentes cenários. Serão ainda demonstradas as metodologias e cálculos previstos na aplicação da regulamentação, os valores obtidos e a discussão dos mesmos.

E no último capítulo é apresentada uma síntese conclusiva dos principais resultados obtidos na realização deste trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

2. Evolução e comportamento dos vãos envidraçados

2.1. Importância e evolução dos vãos envidraçados na arquitetura

Inicialmente as aberturas, assim como os restantes elementos das construções, eram executadas de forma rústica, com materiais locais disponíveis e técnicas próprias desenvolvidas por cada civilização. As aberturas eram geralmente muito pequenas, permitiam apenas a entrada e a saída das pessoas e bens (no caso das portas), um limitado fluxo de ar para arejamento e uma mínima penetração de luz solar (Diogo, 2012). Estas aberturas faziam o contato direto do ambiente interior com o exterior, pois dificilmente eram protegidas (da Silva Pinho, 2013).

Todavia, as aberturas evoluíram muito desde as civilizações antigas. Nas civilizações gregas e romanas as aberturas continuavam sendo de pequenas dimensões cujo objetivo principal estava relacionado às necessidades de arejamento, mas já se procurava um melhor aproveitamento da luz solar (da Silva Pinho, 2013).

Posteriormente, com a evolução da arquitetura e da nova imagem instituída dos templos religiosos, as janelas embora estreitas, passaram a ser mais altas e o vidro começou a ser muito utilizado nestes templos (Chaves, 2003).

Durante o período gótico as janelas, já com a utilização do vidro, passaram a ser muito grandes, largas, procurando aproveitar ao máximo a iluminação natural e o bom arejamento do interior das edificações (Chaves, 2003).

É, entretanto, durante o período renascentista, época de descobertas de novas terras e exploração marítima, que em Portugal aparecem as janelas com caixilharias e ornamentos de pedra muito trabalhados. E dos períodos seguintes as janelas foram evoluindo até às soluções existentes no século XX (da Silva Pinho, 2013).

No século XX, a revolução industrial trouxe a vulgarização do ferro na construção de edifícios e, com isto, o surgimento dos edifícios cada vez mais altos e a utilização do betão armado. Em muitos edifícios, as janelas passaram a assumir as fachadas, denominadas de fachadas de vidro, onde a parede é coberta por uma superfície de vidro conferindo ao edifício um aspeto moderno e “transparente” (Chaves, 2003).

Hoje, os vãos envidraçados se configuram como os elementos mais delicados da envolvente da edificação, visto que através destes se processam muitas trocas de calor entre o interior e o exterior, também promovem a transparência, o que pode afetar a privacidade dos usuários e ainda possibilita a entrada de luz e radiação, que pode comprometer a qualidade dos materiais ou prejudicar a utilização do espaço interior. Então, pretende-se que a utilização de sistemas envidraçados maximize o conforto do ambiente interior, minimize o desperdício energético, sem pôr em causa a ventilação, o aproveitamento da luz natural e a paisagem oferecida pelo ambiente externo, quando esta vale a pena.

A evolução tecnológica e dos materiais possibilita atualmente a utilização de vidros múltiplos, caixas de ar, caixilharias de diferentes tipos de materiais e ainda a possibilidade de acrescentar elementos de sombreamento. Cabe aos projetistas informar-se das diversas opções disponíveis no mercado, seus componentes, suas características técnicas, conhecer as exigências impostas e encontrar soluções que mais se adequem às suas necessidades.

2.2. Comportamento térmico dos vãos envidraçados

Os sistemas envidraçados separam dois ambientes com características e condições térmicas muito diferentes entre si e isto tem grande influência nas trocas energéticas.

A transferência de calor nos vãos envidraçados é determinada por fatores como a temperatura do ar exterior, a radiação solar, os ventos e a chuva. As condições do ambiente exterior e o desempenho térmico da envolvente dos edifícios determinam as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento a atender para garantir um determinado nível de conforto térmico do ambiente interior. Os valores que satisfazem o nível de eficiência, correspondem ao somatório das perdas térmicas e dos ganhos solares realizados no envidraçado (vidro + caixilharia) (Marcos, 2013; Mendes, 2010).

2.2.1. Transferência de calor

Sempre que houver diferenças de temperaturas, a energia interna é transferida de um corpo para outro ou entre dois pontos de um mesmo elemento. Por exemplo, a transferência pode ocorrer entre dois pontos da caixilharia, dois pontos do vidro, um ponto da caixilharia e outro do vidro e entre um ponto da caixilharia e outro elemento construtivo em contacto com a caixilharia. Esta transferência de calor ou perda térmica verifica-se sempre no sentido do elemento com temperatura mais elevada para o elemento com temperatura mais baixa e só termina quando ambos os corpos atingirem a mesma temperatura.

A transmissão de calor nos vãos envidraçados pode realizar-se de três modos distintos, especificamente por condução, por convecção e por radiação, ocorrendo normalmente em simultâneo e com alguma complexidade, como é possível observar na Figura 1.

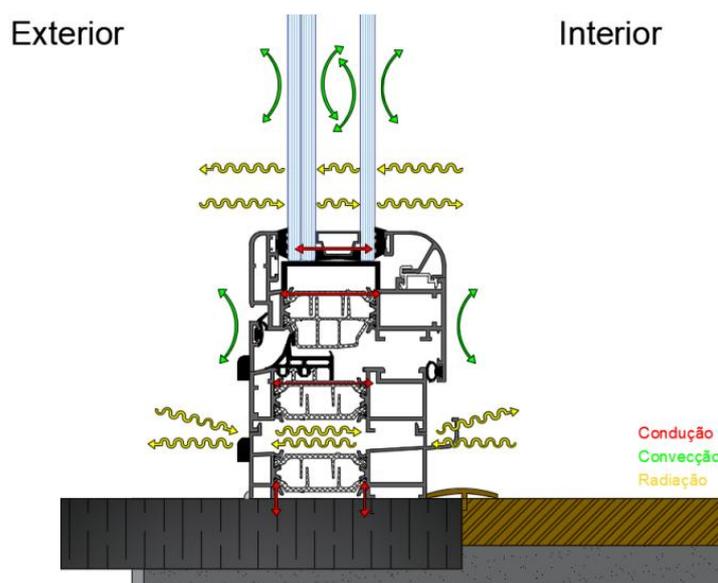


Figura 1 - Trocas de calor nos vãos envidraçados (Veríssimo, 2019)

a) Transmissão de calor por condução

A condução é um modo de transferência de calor por movimento cinético entre partículas ou grupos de partículas de mesmo nível atômico. O aumento da temperatura faz com que os átomos e as moléculas fiquem agitados e movam-se das zonas mais quentes para as mais frias. Este fenómeno pode ocorrer em todos os estados físicos (sólido, líquido e gasoso) (da Silva Pinho, 2013).

O fenómeno é regido pela lei de Fourier que determina que o fluxo de calor por hora que atravessa uma dada superfície é proporcional ao produto da área atravessada pelo gradiente de temperatura existente. O cálculo do fluxo de calor que atravessa um elemento é dado pela expressão descrita na Equação 1 (Veríssimo, 2019):

$$Q_{cond} = \frac{\lambda \times A_s \times (T_e - T_i)}{e} \quad \text{[Equação 1]}$$

Em que:

Q_{cond} – Fluxo de calor por condução [W];

A_s – Superfície do elemento [m²];

T_e, T_i – Temperaturas superficiais do elemento [°C];

e – Espessura da placa [m];

λ – Condutibilidade térmica do elemento [W/m.°C].

A condutibilidade térmica representa a capacidade de condução de calor do elemento e esta varia consoante o tipo de material, a fase em que se encontra, o peso específico, a porosidade, a humidade, a temperatura, entre outros parâmetros. Assim

sendo, quanto menor a condutibilidade térmica de um material, maior será a sua resistência à transmissão de calor e quanto maior for a condutibilidade térmica menor será a resistência ao fluxo de calor, ou seja, menos isolante ou bom condutor térmico.

A Figura 2 organiza em escala, diferentes tipos de materiais, em função dos seus respetivos valores de condutibilidade térmica.

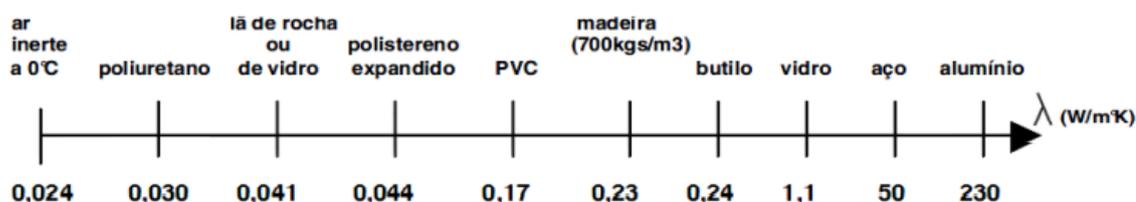


Figura 2 - Condutividade de vários materiais (Marcos, 2013)

b) Transmissão de calor por convecção

Este processo de transferência é derivado da troca de calor entre um corpo sólido e um fluido em movimento (líquido ou gasoso). As moléculas do ar que se encontram diretamente em contacto com um envidraçado absorvem ou cedem calor conforme as temperaturas do envidraçado e do ar em contacto.

A convecção pode considerar-se como natural, quando provocada por diferenças de densidade/pressão no meio 'ar', e como forçada, quando resulta da ação de um agente exterior (vento ou ventilador). Nos envidraçados as trocas por convecção ocorrem nas faces do vidro, no espaço entre os panos de vidro duplo/triplo, entre dispositivos de proteção (quando ativos) e o envidraçado e nos espaços interiores dos perfis das caixilharias (SANTOS *et al.*, 2000; Veríssimo, 2019).

O fluxo de calor transmitido por convecção entre uma superfície e um fluido é proporcional à área considerada e à diferença de temperaturas. É descrito pela lei de Newton e é expresso pela Equação 2 (Veríssimo, 2019):

$$Q_{conv} = h_{conv} \times A_s \times (T_s - T_f) \quad \text{[Equação 2]}$$

Sendo:

Q_{conv} – Fluxo de calor por convecção [W];

h_{conv} – Condutância térmica superficial local por convecção [W/m².°C];

A_s – Área superficial de contato entre o elemento sólido e o fluido [m²];

T_s – Temperatura da superfície exposta do sólido [°C];

T_f – Temperatura característica do fluido [°C].

O coeficiente de condutância térmica superficial normalmente é influenciado por diferentes variáveis e quanto maior for o valor da condutância térmica, maior o valor do fluxo de calor transferido por convecção.

c) Transmissão de calor por radiação

Enquanto as transmissões mencionadas anteriormente envolvem o transporte de energia térmica, em sólidos e fluidos, através de movimentações atômicas e moleculares, a transmissão de calor por radiação eletromagnética traduz-se no transporte de energia calorífica por meio de ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de um meio material de propagação.

Da radiação solar total que atinge a superfície terrestre, cerca 46% é radiação visível (banda de comprimentos de onda que é sensível ao olho humano), e cerca de 49% situa-se na zona do infravermelho (gama de radiações associadas à sensação de calor). A restante radiação solar é, basicamente, radiação ultravioleta, que representa o conjunto de radiações com comprimentos de onda inferiores ao limite inferior do espectro visível ao homem (Figura 3) (SANTOS *et al.*, 2000).

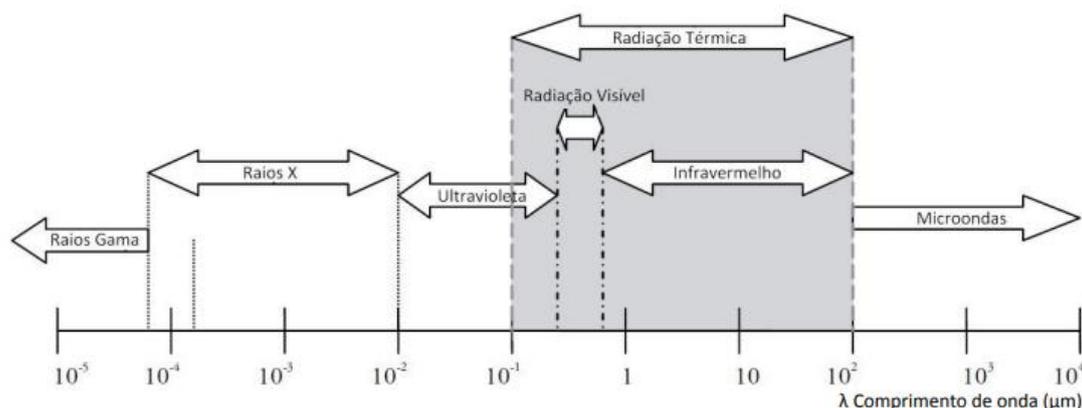


Figura 3 - Espectro das radiações eletromagnéticas (Diogo, 2012)

Relativamente aos edifícios, é comum distinguir a radiação de onda curta (ou radiação solar) e a radiação de onda longa (ou infravermelha). O fluxo de calor associado à transmissão de calor por radiação de onda longa, entre o paramento e as restantes superfícies interiores do compartimento, para uma dada área perpendicular ao fluxo, é expresso pela Equação 3 (Diogo, 2012):

$$Q_r = h_r \times A_s \times (T_i - T_{si}) \quad \text{[Equação 3]}$$

Em que:

Q_r – Fluxo de calor por radiação [W];

h_r – Condutância térmica superficial local por radiação [W/m².°C];

A_s – Área superficial [m²];

T_i – Temperatura do ambiente interior [°C];

T_{si} – Temperatura da superfície interior do paramento [ C].

Todos os elementos dos vãos envidraçados absorvem, refletem e emitem radia o. A intensidade dessa radia o varia de acordo com a temperatura absoluta, a posi o de um corpo em rela o ao outro e o estado da superfície ou emissividade do corpo radiante, propriedade que traduz a quantidade de energia térmica emitida por radia o e por unidade de tempo (Veríssimo, 2019).

2.2.2. Coeficiente de transmissão térmica

O coeficiente de transmissão térmica caracteriza-se pelo fluxo de calor que atravessa um metro quadrado da superfície para uma diferença de temperatura de um grau entre o exterior e o interior. Este fen meno compreende trocas de calor por condu o, convec o e radia o entre dois pontos de um elemento.

Nos vãos envidraçados, quando existem diferenças de temperatura entre o espaço exterior e o interior, a transmissão de calor ocorre a partir de todos os elementos. Estão presentes trocas por condu o através do vidro e da caixilharia, por convec o entre as superfícies dos vidros e o ar (da caixa-de-ar e do ambiente) e por radia o entre as superfícies dos vidros e o ar do espaço interior e exterior e/ou outros elementos adjacentes (Figura 4) (Diogo, 2012).

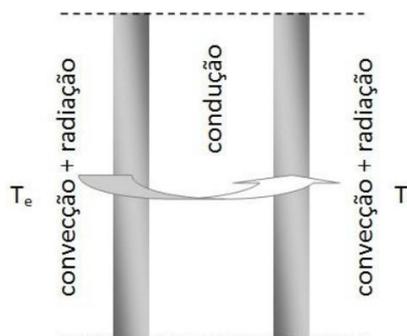


Figura 4 - Fen menos de transferência de calor num sistema envidraçado constituído por dois panos de vidro, separados por uma cavidade de ar (para $T_e > T_i$) (Diogo, 2012)

O coeficiente de transmissão térmica integra todos os fen menos de transmissão de calor e caso não se conheçam os valores dos coeficientes de transmissão térmica do caixilho e nem do vidro, utiliza-se a fórmula genérica do coeficiente de transmissão térmica expresso na Equa o 4 (SANTOS et al., 2000):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \left(\frac{e_v}{\lambda_v} \right) + R_{ar} + R_{se}} \quad \text{[Equa o 4]}$$

Onde:

U – Coeficiente de transmissão térmica da janela com vidro duplo [$W/m^2 \cdot  C$];

R_{si} e R_{se} – Resistências térmicas superficiais interior e exterior [$W/m^2 \cdot  C$];

R_{ar} – Resistência térmica da caixa-de-ar ou de outro gás, entre vidros ($R_{ar}=0$ para vidro simples) [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

e_v – Espessura do vidro [m];

λ_v – Condutibilidade térmica aparente do vidro (1,1 $W/m \cdot ^\circ C$).

Caso se conheçam os valores dos coeficientes de transmissão térmica do caixilho e do vidro, poderá determinar-se o valor do coeficiente de transmissão térmica da janela recorrendo ao método de cálculo (ADENE, 2017b):

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g}{A_f + A_g} \quad \text{[Equação 5]}$$

Em que:

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela simples sem proteção solar [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

A_f – Área do caixilho [m^2];

U_f – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

A_g – Área do vidro [m^2];

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

l_g – Perímetro de ligação entre o caixilho e o vidro [m];

ψ_g – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre o caixilho e o vidro [$W/m \cdot ^\circ C$].

O valor de ψ_g para diferentes tipos de caixilharia e de vidros encontra-se na Tabela 1:

Tabela 1 - Valor de Ψ para diferentes tipos de caixilharia e de vidros (ADENE, 2017b)

Tipo de Caixilharia	Valor do coeficiente de transmissão térmica linear para diferentes tipos de vidro, ψ_g [$W/(m \cdot ^\circ C)$]		
	Vidros duplos ou triplos não revestidos (lâmina de ar ou gás)	Vidros duplos(a) ou triplos(b) de baixa emissividade (lâmina de ar ou gás)	Vidro Simples
Madeira ou PVC	0,06	0,08	0
Metálica com corte térmico	0,08	0,11	
Metálica sem corte térmico	0,02	0,05	

a) Um painel revestido para vidros duplos

b) Dois painéis revestidos para vidros triplos

Caso existam dispositivos de proteção solar/occlusão noturna, o coeficiente a considerar no cálculo da transmissão térmica deve ser o médio dia-noite (U_{wdn}), que corresponde à média dos coeficientes de transmissão térmica de um vão envidraçado com a proteção aberta (posição típica durante o dia) e fechada (posição típica durante a noite) e que se toma como valor base para o cálculo das perdas térmicas pelos vãos envidraçados de um edifício em que haja ocupação noturna importante, designadamente em habitações, entre outros (Decreto-Lei nº118/2013).

Sendo assim, a determinação do valor de U_{wdn} de uma janela com proteção solar/occlusão noturna é feita através da expressão disponível na Equação 6 (ADENE, 2017a):

$$U_{wdn} = \frac{U_w + U_{ws}}{2} \quad \text{[Equação 6]}$$

Em que:

U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela sem dispositivo de proteção solar/occlusão noturna [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

U_{ws} – Coeficiente de transmissão térmica do vidro com o dispositivo de proteção solar/occlusão noturna [$W/m^2 \cdot ^\circ C$], o qual obtém-se através da Equação 7 (da Silva Pinho, 2013):

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad \text{[Equação 7]}$$

Onde:

ΔR - Resistência térmica adicional da camada de ar existente entre o dispositivo de oclusão e a janela.

Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de proteção solar/occlusão noturna, então U_{wdn} é igual a U_w .

2.2.3. Fator solar

A radiação total incidente num vidro é composta pela radiação que é transmitida diretamente para o interior, pela radiação que é refletida instantaneamente para o exterior e pela radiação que é absorvida pelo vidro. Da radiação absorvida, uma parte é emitida para o exterior e outra é emitida para o interior. O fator solar é a percentagem da radiação total incidente que chega ao interior dos edifícios, e consiste na radiação transmitida diretamente para o interior e na radiação absorvida que é emitida para o interior posteriormente (da Silva Pinho, 2013).

O fator solar global (g_T) de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas, calcula-se através da seguinte formulação geral (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)(Ministério do Ambiente, 2013):

a) para vidro simples (Equação 8)

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.85} \quad [\text{Equação 8}]$$

b) para vidro duplo (Equação 9)

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.75} \quad [\text{Equação 9}]$$

Onde:

g_T - Fator solar global de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas;

$g_{\perp,vi}$ - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro;

g_{Tvc} - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro.

O fator solar global do vão envidraçado irá depender dos tipos de vidro e dos dispositivos de sombreamento utilizados, além da orientação do vão em relação ao Norte que determina a fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).

Em conclusão, já que o fator solar representa a energia solar que atravessa o envidraçado para o interior do edifício, então quanto menor for o valor do fator solar menores serão os ganhos solares.

2.3. Iluminação natural

Entende-se por conforto visual ou luminoso, um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual é possível a execução de diferentes tarefas visuais com precisão e reduzidos riscos de acidentes ou desconfortos físicos aos ocupantes. Neste contexto, o papel da iluminação natural é fundamental para proporcionar um ambiente visual interior apropriado.

A iluminação natural disponível no interior dos edifícios depende da disponibilidade de luz natural no exterior. Os níveis de iluminação natural no interior são resultantes de (Gemelli, 2009; Pizarro, 2005):

- Das condições de nebulosidade do céu;
- Do período do dia e do ano;

- Das características geométricas do edifício e dos compartimentos;
- Da disposição, dimensões e características espectralfotométricas dos vãos envidraçados (especialmente do vidro);
- De elementos internos ou externos que podem causar obstruções (inclui também os elementos de proteção solar);
- Das características refletivas dos materiais superficiais interiores (cores das paredes, tetos e pisos) e outros elementos como o mobiliário.

Então tem-se que a iluminação natural total disponível num determinado ponto no interior de um compartimento resulta da soma das seguintes contribuições (Santos, 2016):

- Luz recebida diretamente do Sol;
- Luz recebida do céu após ter sido difundida pelos gases existentes na atmosfera (luz azul) e pelas partículas de água nas nuvens (luz branca);
- Luz das duas componentes anteriores após ter sido refletida em superfícies próximas (distância do edificado vizinho e pelas cores e texturas das suas superfícies, vegetação ao redor, pavimento exterior, etc.);
- Luz refletida pelas superfícies internas (variáveis consoante a cor e textura usadas nessas superfícies).

É comum referirem-se às duas primeiras contribuições como a Componente Direta (C.D.) ou Componente Celeste (C.C.) da Iluminação Natural e as restantes como a Componente Refletida Exterior (C.R.E.) e a Componente Refletida Interior (C.R.I.), respetivamente (Figura 5) (Santos, 2016).

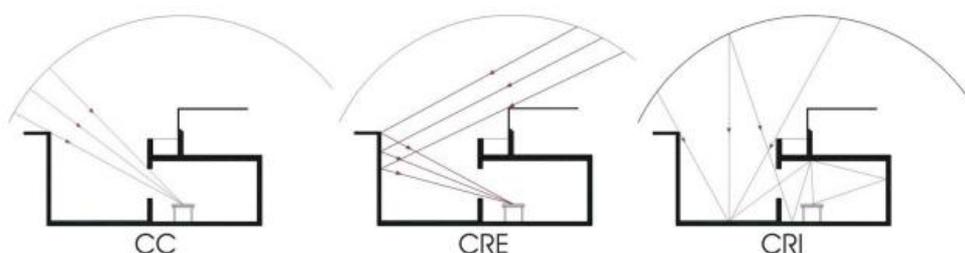


Figura 5 - Fontes da luz natural distribuída no ambiente interno (Ramos, 2008)

Outro aspeto importante na caracterização das condições da luz natural é a composição do céu e a CIE¹ estabelece três tipos de céu (COUTINHO, 2009):

- Céu limpo – o céu encontra-se azul sem nuvens e o Sol é visível. A luminosidade varia tanto no horizonte como no zénite², dependendo também

¹ Commission Internationale de L'éclairage – Comissão Internacional de Iluminação.

² Zénite segundo a perspetiva de um observador localizado num plano sobre a Terra é a intersecção na perpendicular com a abóbada celeste.

da posição do Sol, onde a zona mais próxima deste chega a alcançar uma intensidade luminosa 40 vezes maior que na linha do horizonte (Figura 6A).

- Céu parcialmente encoberto ou céu intermédio – representa uma situação intermédia entre céu limpo e céu encoberto. Esta situação representa o céu parcialmente encoberto ou parcialmente limpo e embora seja o tipo de céu mais frequente, a CIE não recomenda nenhum dos modelos atualmente existentes (Figura 6B).
- Céu encoberto – condições de céu completamente coberto por nuvens densas e escuras. Este tipo de céu pode apresentar-se segundo dois modelos: céu encoberto uniforme ou céu encoberto padrão (Figura 6C). No modelo de céu encoberto uniforme a luz é constante em todo o hemisfério do céu, o que não acontece na realidade. No céu encoberto padrão considera-se que a luz emitida no zénite é três vezes superior à luz emitida no horizonte.



Figura 6 - Modelos de Céu - A: Céu limpo; B: Céu intermédio; C: Céu encoberto (Coutinho, 2009)

A Figura 7 representa muito bem a diferença de disponibilidade de luz para um céu limpo e para um céu encoberto.

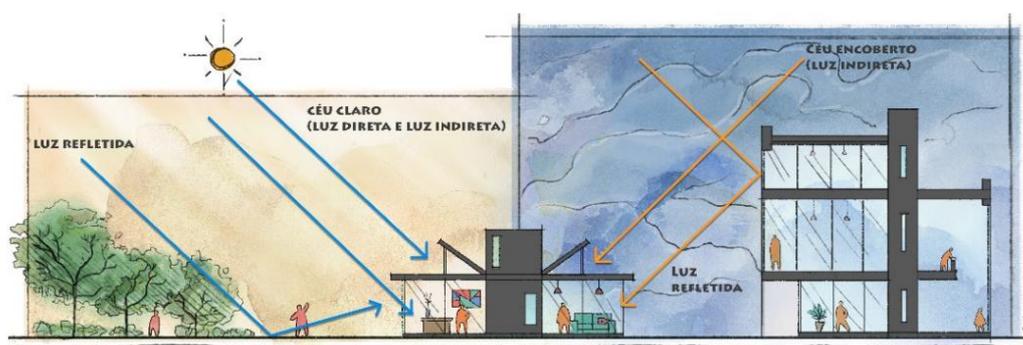


Figura 7 - Diferença de Disponibilidade de Luz: Céu Limpo e Céu Encoberto (Fernandes, 2016)

O tipo de céu que é aconselhado e considerado pela CIE como padrão internacional aceite como base para o cálculo da disponibilidade da luz natural é o Céu Encoberto Padrão (COUTINHO, 2009). Esta realidade não corresponde às condições de iluminação natural médias em Portugal, onde predomina o céu limpo ou intermédio, no entanto, permite estabelecer as condições mínimas de iluminação, por reproduzir as condições mais desfavoráveis de luz (Santos, 2016).

A quantificação da luz natural para um cenário de Sol encoberto é difícil devido à variabilidade da sua disponibilidade no exterior, graças às alterações de nebulosidade. Já em climas soalheiros a disponibilidade da luz natural é de mais fácil previsão, pois a sua variabilidade é relativamente lenta e essencialmente graças à variação da posição aparente do Sol. É por esta razão que, na prática, a disponibilidade da iluminação natural no interior dos edifícios, é quantificada não em termos dos valores absolutos das iluminâncias, mas em termos de quocientes de iluminâncias – Fator Luz-Dia (Santos, 2016).

Para além das condições climáticas, a quantidade de luz natural que chega ao solo depende também das características geográficas do local. A latitude local tem influência no grau de luminosidade e também na disponibilidade da luz natural ao longo do ano, conforme apresentado na Figura 8. A intensidade de luz obtida num dia de céu limpo depende do ângulo dos raios solares em relação à superfície da Terra. Razão pela qual a luz ao nascer e ao pôr-do-sol ser menos intensa e ao meio-dia ser mais intensa (COUTINHO, 2009).

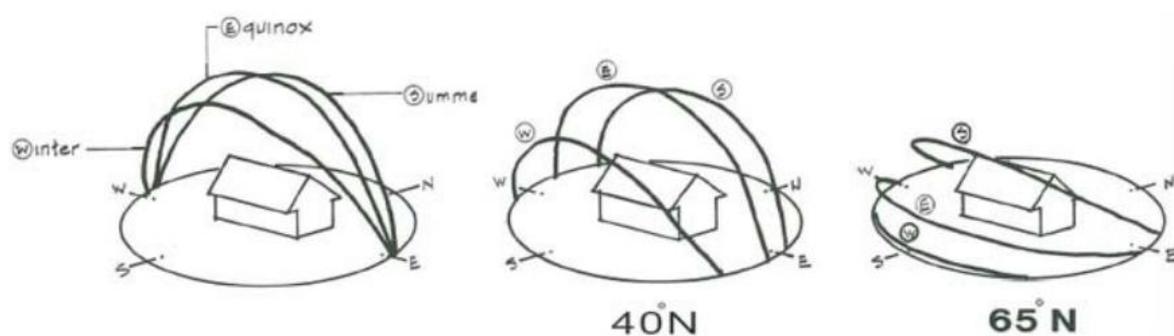


Figura 8 - Trajetória do Sol no Inverno, no Equinócio e no Verão em locais com latitude de 40°N e 65° N (Coutinho, 2009)

2.3.1. Características dos materiais e a cor

A quantidade e a qualidade da luz no interior de um compartimento variam de acordo com o acabamento e a cor das superfícies, e por isso é importante entender as propriedades dos materiais. Os principais fenômenos da luz quando esta entra em contato com os materiais são a reflexão, a refração e a transmissão (COUTINHO, 2009).

A reflexão é o reenvio de uma radiação por uma superfície, sem alteração de frequência das radiações monocromáticas que a compõem. A reflexão pode ocorrer de três formas (COUTINHO, 2009):

- Especular – o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Este tipo de reflexão dá-se nas superfícies polidas como espelhos e metais (Figura 9A).
- Dispersa – é derivada das irregularidades nas superfícies espelhadas. A forma desta reflexão é cônica, em que o principal ângulo de reflexão é igual ao de incidência (Figura 9B).

- Difusa – refletem a luz igualmente em todas as direções. O plástico e os materiais com acabamento tipo mate provocam esta reflexão. A quantidade de luz refletida varia consoante a cor e a forma da superfície (Figura 9C).

Contudo, existem ainda muitos outros materiais que combinam dois tipos de reflexões. Nestes casos, a quantidade de luz refletida é a soma de todas as reflexões, sejam elas especulares, dispersas ou difusas (Figura 10).

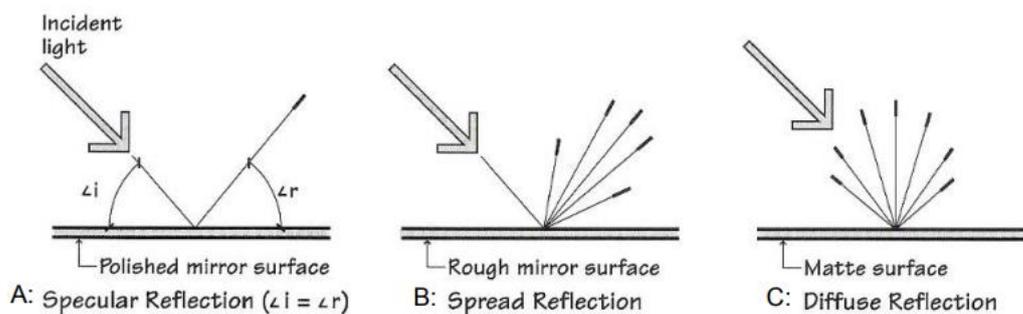


Figura 9 - Reflexão da Luz - A: Reflexão Especular; B: Reflexão Dispersa; C: Reflexão Difusa (Coutinho, 2009)

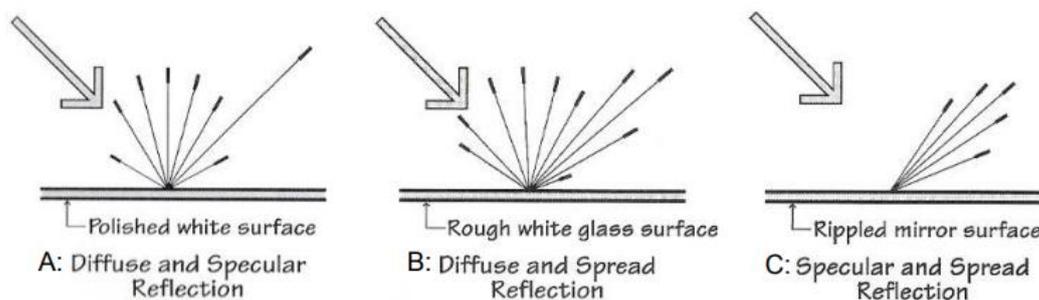


Figura 10 - Combinações de diferentes tipos de reflexão - A: Reflexão Difusa e Especular; B: Reflexão Difusa e Dispersa; C: Reflexão Especular e Dispersa (Coutinho, 2009)

A Tabela 2 permite consultar a refletância de alguns tipos de materiais comumente utilizados no acabamento de diversas superfícies, tanto internas, quanto externas. É possível notar que as superfícies pintadas de branco possuem boa capacidade de reflexão da luz.

Tabela 2 - Refletâncias de alguns materiais (Coutinho, 2009)

Surface type	Description	Reflectance
Ceilings	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	White emulsion paint on acoustic tile	0.7
Walls	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	Tiles: white glazed	0.8
	Brick: concrete, light grey	0.4
	Portland cement, smooth	0.4
Floors and furniture	Paper, white	0.8
	Cement: screed	0.45
	PVC tiles: cream	0.45
	Carpet: light grey, middle buff	0.45
Other	Asphalt	0.07
	Moist earth	0.07
	Gravel	0.13
	Water	0.15

A refra o trata-se da mudança de dire o de propaga o de uma radia o, determinada pelas varia es de velocidade de propaga o num meio não homog neo ou na passagem de um meio para outro (Figura 11). A refra o da luz acontece quando esta atravessa materiais com diferentes densidades, em que a velocidade da luz diminui ao atravessar materiais com elevada densidade e aumenta em materiais de menor densidade. Materiais com estas propriedades como os blocos de vidro e painéis de vidro prismático, não possibilitam ter uma visão real da paisagem exterior (COUTINHO, 2009).

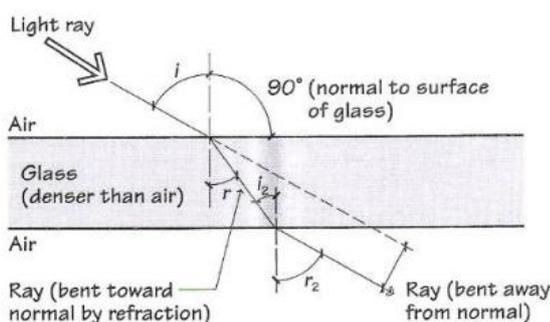
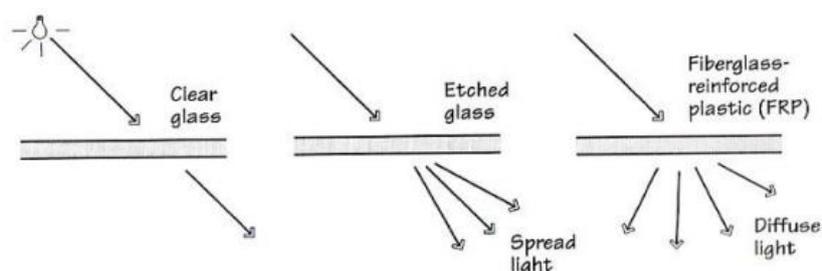


Figura 11 - Refra o da luz ocorrido num vidro mais denso que o ar (Coutinho, 2009)

E finalmente, a transmissão da luz entende-se como a passagem de uma radia o através de um meio, sem mudança de frequência das radia es monocromáticas que a compõem. A maioria destes materiais, especialmente o vidro, consegue transmitir, refletir e absorver a luz solar (Tabela 3).

Tabela 3 - Transmitância e refletância de alguns tipos de vidro (Coutinho, 2009)

Glass type	Light transmittance	Reflectance
Single pane		
Clear glass 6 mm	0.89	0.08
Clear glass 6 mm low-e	0.84	0.10
Double pane with clear inner		
Clear glass 6 mm	0.76	0.10



2.3.2. Estratégias de iluminação natural nos edifícios

Por meio de estratégias adotadas ainda na fase de projeto arquitetônico, é possível ampliar a distribuição da luz natural no interior dos compartimentos. Para este propósito, foram definidas cinco estratégias de design (COUTINHO, 2009):

1. Sombreamento – Sombreado as entradas de luz evita-se o encadeamento e o ganho excessivo de calor proveniente da luz direta do sol.
2. Redirecionamento – Redirecionar a luz para onde ela se faz necessária. Não é admissível ter excesso de luz perto da janela e ter escassez de luz no resto do compartimento. A uniformidade da iluminação num compartimento é a base de uma boa iluminação.
3. Controle – Controlar a quantidade de luz que entra no ambiente, ou seja, proporcionar a quantidade certa de iluminação natural onde e quando ela é necessária.
4. Eficiência – Usar a luz de modo eficiente através das formas e materiais, dispostos estrategicamente, no interior do compartimento. Desta forma consegue-se distribuir melhor a luz no espaço e reduzir o uso de iluminação artificial.
5. Integração – Integrar os sistemas de iluminação natural com a arquitetura.

Existem algumas soluções que quando bem concebidas permitem pôr em prática as estratégias acima mencionadas. São exemplos destas soluções os elementos de condução da luz (galerias, pórticos, átrio, pátio interno, poço ou duto de luz), os elementos de passagem da luz (janela, varanda, parede translúcida, *shed*, lanternim, etc.) e os de controle (persianas, cortinas, toldos, beiral, marquise, veneziana, etc.). A Figura 12 exemplifica algumas destas soluções.

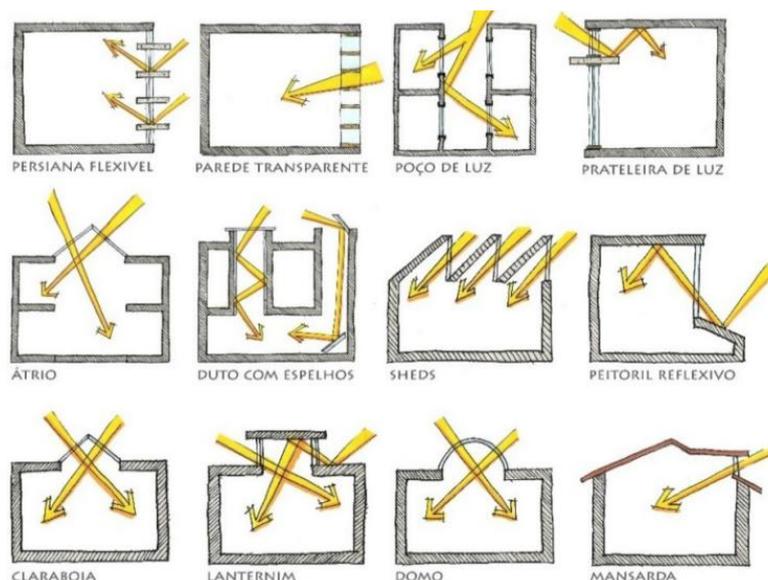


Figura 12 - Exemplos de soluções para melhor aproveitamento da luz natural (Fernandes, 2016)

A projeção da luz que entra em um ambiente possui relação direta com a profundidade e altura da abertura, geralmente numa proporção que chega a uma vez e meia a altura do piso ao topo da janela, conforme demonstrado na Figura 13A. Mas aumentando a altura da janela e fazendo uso de elementos que permitam maiores reflexões e direcionamentos da luz é possível melhorar a distribuição da mesma nos ambientes, como na Figura 33B, a utilização de uma prateleira possibilitou o aumento de 0,50m no alcance da luz (Fernandes, 2016).

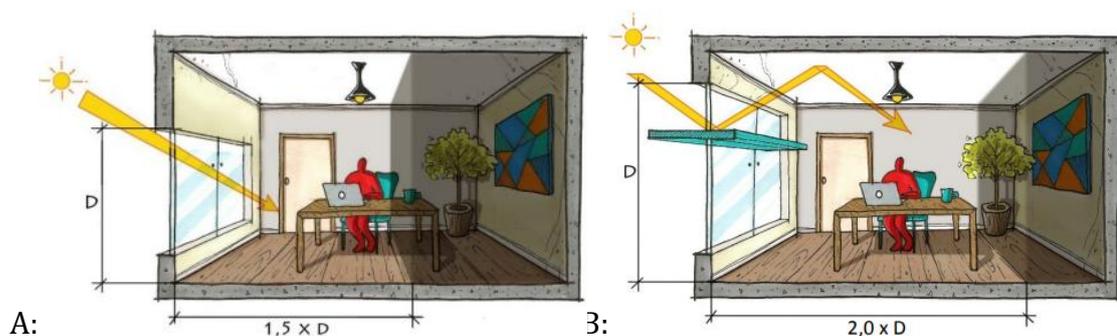


Figura 13 - A: Relação da Altura da Abertura e Profundidade do Ambiente; B: Melhoria de 0,50m da distribuição da luz no ambiente com uso de prateleira de luz (adaptado de Fernandes, 2016)

Todavia, deve-se ter atenção que para a melhoria da qualidade da luz natural no ambiente interior, aumentar a dimensão da janela nem sempre é a solução mais adequada, dado que esta deve atender simultaneamente às necessidades de iluminação natural, conforto térmico e visual, eficiência energética e relação com o espaço exterior.

A posição das janelas e suas características geométricas como forma e dimensão, variam muito de acordo com o uso e o *layout* dos ambientes, porém geralmente a indicação é que a janela tenha uma área mínima de 8 a 10% da área do piso. No tocante à orientação das janelas, é considerada que a melhor orientação para a iluminação natural, seja feita de forma que as maiores fachadas fiquem posicionadas para Norte e Sul. Tal devido à maior facilidade de fazer proteção para as fachadas norte e sul, pois recebem menos radiação solar direta que a este e oeste (Fernandes, 2016).

A posição das janelas modificam a distribuição de luz ambiente, segundo os seguintes princípios (Fernandes, 2016):

- Janelas posicionadas mais baixas proporcionam iluminação pouco uniforme com risco de ofuscamento por se situarem na linha de visão, em contrapartida permitem contato visual com a paisagem (Figura 14A);
- Janelas com posição mais altas propiciam um maior alcance na distribuição da luz e maior uniformidade, diminuindo a possibilidade de ofuscamento por estarem situadas acima do campo visual (Figura 14B);
- Janelas com formas contínuas proporcionam maior uniformidade nas áreas próximas às aberturas do que janelas descontínuas (Figura 14C);
- Espaços que têm mais de uma janela possuem uma distribuição de luz mais equilibrada, especialmente se proveniente de diferentes direções.

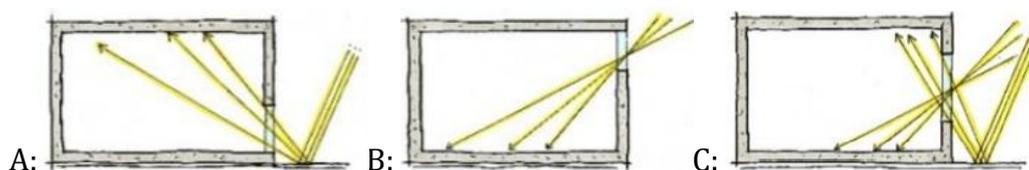


Figura 14 - Diferença de distribuição da luz natural em diferentes tipos e posições de janela (Fernandes, 2016)

Finalmente, um aspecto de grande importância a considerar é o uso de proteções solares. Sabe-se que o uso destes elementos protege as aberturas da radiação solar direta permitindo a entrada da iluminação natural difusa e a redução de ganhos térmicos dos compartimentos interiores, contudo, estes elementos podem prejudicar a iluminação natural. Porém, se bem planejados e dimensionados, os dispositivos de sombreamento podem garantir a redução da incidência da radiação solar quando necessária, sem comprometer a penetração da luz natural.

2.3.3. Métodos de cálculo, medições e simulações

Para que seja feita uma adequada caracterização e quantificação da iluminação natural disponível foram propostos quatro métodos de análise (Santos, 2016):

- Análise quantitativa do projeto de iluminação natural nos edifícios;

- Avaliação *in situ*;
- Simulação (tridimensional física – maquete ou tridimensional virtual – computacional);
- Avaliação pós-ocupacional.

O método a utilizar irá variar conforme os objetivos pretendidos nas análises e a adequação aos casos em estudo. No contexto deste trabalho, este tópico pretende explicar de forma sucinta e simplificada o método de análise quantitativa da iluminação natural de um espaço interior e também serão referidos alguns conceitos e grandezas físicas da luz. O método de simulação, mais específico o computacional, será apresentado, também de forma simplificada, no capítulo 4.

Principais medidas e grandezas físicas da luz

- Fluxo Luminoso – ϕ

O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa, em todas as direções, a qual produz estímulos visuais dentro dos limites do espectro visível (≈ 400 a 800nm^3) (Figura 15). A unidade que representa o fluxo luminoso é o lúmen (lm) (COUTINHO, 2009).

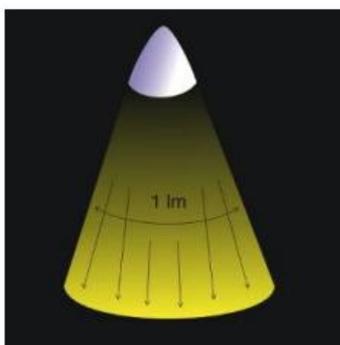


Figura 15 - Representação do fluxo luminoso de um lúmen emitido por fonte luminosa (Coutinho, 2009)

- Intensidade Luminosa – I

A intensidade luminosa é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa numa determinada direção. Isto acontece porque uma fonte luminosa não irradia luz uniformemente em todas as direções. Para se determinar o seu valor adota-se um vetor para uma dada direção, e o seu comprimento indica uma determinada intensidade luminosa (Figura 16). A unidade que mede a intensidade luminosa é a candela (cd) (COUTINHO, 2009).

³ nm símbolo da unidade de comprimento de onda, nanometro. $1\text{ nm} = 1,0 \times 10^{-9}\text{ m}$

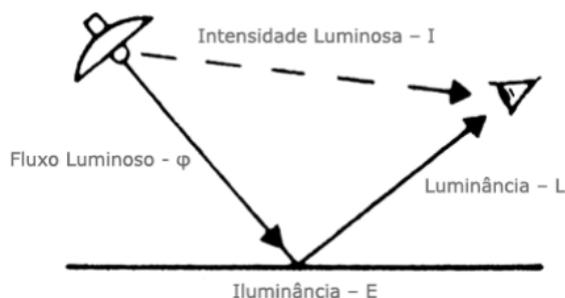


Figura 16 - Representação geral do sistema luminoso (Coutinho, 2009)

▪ Iluminância - E

A iluminância é a relação da quantidade de luz, emitida por uma fonte luminosa, com a superfície de incidência. Isto é, é a densidade do fluxo luminoso por área. Se o fluxo luminoso de 1 lúmen incidir numa superfície de 1 metro quadrado, a iluminação dessa área é de 1 lux (Figura 17). A unidade da iluminância é o lux (lux) ou lúmen por metro quadrado (lm/m^2) (COUTINHO, 2009). A fórmula de obtenção do valor da iluminância se encontra descrita na Equação 10.

$$E = \frac{\phi}{A} \quad [\text{Equação 10}]$$

Onde:

ϕ - Fluxo luminoso (lm);

A - Área (m^2);

E - Iluminância (lux).

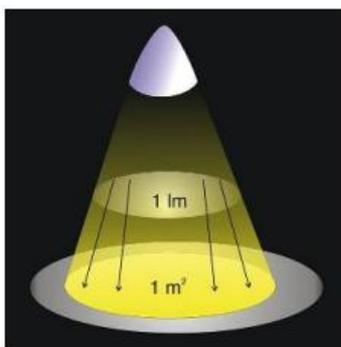


Figura 17 - Representação do fluxo luminoso de 1 lúmen que incide sobre uma área de 1 metro quadrado e produz o uma iluminância de 1 lux (Coutinho, 2009)

▪ Luminância - L

A luminância consiste na quantidade de luz refletida por uma determinada superfície. Desta forma, esta depende da quantidade de luz emitida pela fonte luminosa e da capacidade de reflexão do material (Figura 18). Logo, uma determinada iluminância gera diferentes luminâncias. A unidade da

luminância é a candela por metro quadrado (cd/m^2) (COUTINHO, 2009) As duas fórmulas que permitem calcular o valor da luminância se encontram nas Equações 11 e 12.

$$L = \frac{I}{(A \times \cos \alpha)} \quad [\text{Equação 11}]$$

Em que:

L - Luminância (cd/m^2);

I - Intensidade luminosa (cd);

A - Área projetada (m^2);

α - Ângulo considerado (graus).

Ou,

$$L = \frac{(\rho \times E)}{\pi} \quad [\text{Equação 12}]$$

Em que:

L - Luminância (cd/m^2);

ρ - Coeficiente de reflexão (relação entre o fluxo luminoso incidente e o refletido pela superfície);

E - Iluminância dessa superfície (lux).

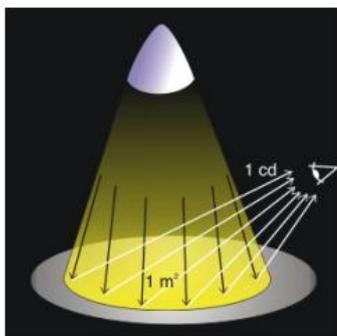


Figura 18 - Representação da intensidade luminosa refletida por uma superfície dividida pela área visível aos olhos denominada luminância (Coutinho, 2009)

Avaliação da luz natural nos edifícios – Aspectos quantitativos

A eficiência da iluminação natural nos compartimentos internos é frequentemente avaliada em termos de Fator Luz-Dia (FLD – do inglês *Daylight Factor* – DF) que, por definição, trata-se do quociente entre a iluminância interna e a iluminância externa, simultaneamente disponível no plano horizontal de um conjunto do céu desobstruído, expresso em percentagem (Gemelli, 2009). Este fator é calculado por meio a expressão na Equação 13 (Santos, 2016):

$$FLD = \frac{E_{int.}}{E_{ext.}} \times 100\% \quad [\text{Equação 13}]$$

Em que:

FLD – Fator Luz-Dia (%);

$E_{int.}$ – Iluminância num ponto de um plano no interior de um compartimento (lux) (Figura 19);

$E_{ext.}$ – Iluminância horizontal global exterior devido a um hemisfério de céu desobstruído (lux) (Figura 19).

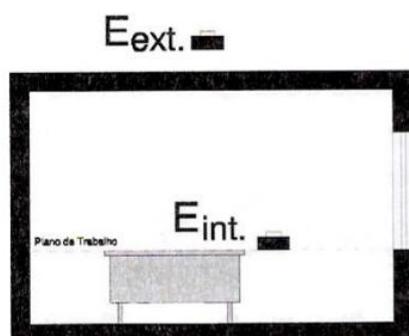


Figura 19 - Representação do método de medição do FLD (Coutinho, 2009)

Todas as superfícies na envolvente de um compartimento contribuem para a quantidade e distribuição da luz natural no interior dos compartimentos, sendo assim, é preciso avaliar as propriedades dos materiais que revestem as superfícies. Para as superfícies opacas é necessário o valor da sua refletância e para os envidraçados a sua transmitância. O procedimento para obter estes valores varia conforme o equipamento de medição utilizado. Caso seja o Luxímetro, aparelho portátil que mede os níveis de iluminância através de um sensor de luz que possui um raio de captação de 180°, as medições são efetuadas da seguinte forma (COUTINHO, 2009):

- Para todas as superfícies opacas no interior da divisão, obstruções e pavimentos exteriores efetua-se a medição de iluminância, com o sensor, na direção oposta à superfície (E_d), e outra na direção da superfície (E_r) (Figura 20). O quociente entre estes dois valores corresponde à refletância do material avaliado (ρ_s) conforme descrito na Equação 14.

$$\rho_s = \frac{E_r}{E_d} \times 100\% \quad [\text{Equação 14}]$$

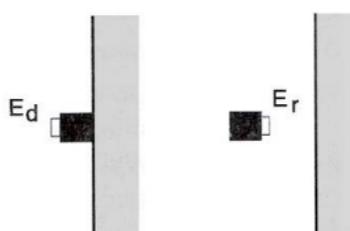


Figura 20 - Representação da medição da refletância de uma superfície opaca (ρ_s) (Coutinho, 2009)

- A medição das transmitâncias de todos os vãos é feita sob a condição de céu encoberto e mede-se a iluminância com o sensor na parte exterior do envidraçado na direção do exterior ($E_{V_{ext.}}$). Uma segunda medição é realizada na parte interior do envidraçado na direção do exterior ($E_{V_{int.}}$), a cerca de 1cm de distância do vidro (Figura 21). Novamente, o quociente entre as iluminâncias resulta na transmitância do vidro⁴ (τ_v) conforme descrito na Equação 15.

$$\tau_v = \frac{E_{V_{int.}}}{E_{V_{ext.}}} \times 100\% \quad \text{[Equação 15]}$$

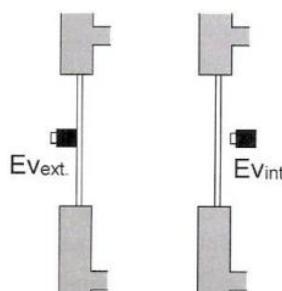


Figura 21 - Representação da medição da transmitância de uma superfície transparente (τ_v)

A nível da caracterização da eficácia de um vão envidraçado para proporcionar luz natural a um espaço interior, considera-se que o parâmetro mais útil é a abertura eficaz (A_{ef}) que fornece uma medida mais exata do grau de transparência dos vãos à iluminação natural. Este valor determina-se mediante a Equação 16 (Santos, 2016):

$$A_{ef} = T_v \times \left(\frac{A_v}{A_p} \right) \quad \text{[Equação 16]}$$

Onde:

A_{ef} – Abertura eficaz do envidraçado (%);

T_v – Transmitância visível do envidraçado (%);

A_v – Área útil de envidraçado (m^2);

A_p – Área da parede que contém a janela (medida pelo interior) (m^2).

Igualmente importante é a superfície relativa de área envidraçada que se define como sendo o quociente entre a área envidraçada útil e a área de pavimento e que permite ter uma noção rápida da claridade do compartimento ao longo do ano, bem como o comportamento do espaço interior em relação às condições climáticas exteriores (Santos, 2016).

⁴ Transmitância visível dos envidraçados corresponde à percentagem da luz visível que atinge um envidraçado e que se propaga para o interior (SANTOS et al., 2000).

Resumindo, são muitos os fatores que podem variar a quantidade de luz natural no interior de um espaço. Porém, é importante que a luz satisfaça adequadamente as exigências funcionais humanas necessárias para realizar uma determinada atividade num determinado espaço. Assim sendo, existem valores de iluminância recomendados pela CIE para o plano de trabalho, consoante o nível de exigência associado às diferentes atividades (Tabela 4).

Tabela 4 - Iluminâncias recomendadas consoante o tipo de atividade, segundo a CIE (Coutinho, 2009)

DOMÍNIOS	ILUMINÂNCIAS RECOMENDADAS (lux)	TIPO DE ACTIVIDADE
Iluminação geral para áreas pouco utilizadas ou com poucas exigências do ponto de vista das tarefas visuais	20 - 50	Áreas públicas com zonas circundantes "escuras".
	50 - 100	Orientação simples apenas para estadias temporárias de curta duração.
	100 - 200	Compartimentos usados em actividades não contínuas (áreas de armazenagem, vestibulos, átrios, etc.).
Iluminação geral em zonas interiores com exigências elevadas do ponto de vista das tarefas visuais	300 - 500	Tarefas com exigências visuais limitadas (Trabalho com máquinas de pouca precisão, anfiteatros, etc.)
	500 - 1000	Tarefas com exigências visuais normais (Salas de aula, gabinetes, trabalho com máquinas de precisão média, etc.)
	1000 - 2000	Tarefas com exigências visuais especiais (Salas de desenho, gabinetes de arquitectura, tarefas de inspecção de materiais, etc.)
Iluminação adicional para o desempenho de tarefas visuais que exijam grande exactidão	3000 - 5000	Tarefas que exijam um desempenho visual de elevada exactidão, durante um período longo (fabrico de relógios, indústria electrónica, outras actividades de precisão, etc.).
	5000 - 7500	Tarefas visuais que exijam um desempenho visual excepcionalmente exacto (micro-electrónica, por ex.)
	10000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais (cirurgias, por ex.)

2.4. Conclusões sobre os aspetos dos vãos envidraçados

Com o conteúdo exposto neste capítulo, foi possível observar que os vãos envidraçados embora sejam considerados os elementos mais sensíveis nas envolventes dos edifícios pelas razões como a forte incidência da radiação solar direta e ganhos térmicos acima dos desejáveis, são também de extrema importância não só pela composição estética dos edifícios, mas também pela capacidade de proporcionar luz natural, ventilação e relação com o espaço exterior. As tecnologias de construção mais e mais avançadas permitem várias configurações de janelas com aberturas, materiais e cores diferentes, mais aprimorados e com características que cada vez mais tentam responder aos requisitos térmicos impostos.

Contudo, conforme dito anteriormente, há que levar em conta que as características e propriedades das janelas devem atender em simultâneo às necessidades de iluminação natural, conforto térmico e visual, eficiência energética e

relação com o espaço exterior e o emprego de muitos elementos/recursos para a satisfação dos parâmetros térmicos poderá comprometer a alguns destes aspetos importantes, nomeadamente a iluminação natural, que é uma das temáticas em estudo neste trabalho.

Então, assim como o cumprimento dos parâmetros térmicos dos vãos envidraçados são de grande relevância para a eficiência energética das edificações, a obtenção de níveis satisfatórios de iluminação natural também é, na medida que irá reduzir as necessidades energéticas aliadas ao consumo da iluminação artificial. Além disso, também garante o conforto dos ocupantes, uma vez que está comprovado que níveis adequados de iluminação estão relacionados ao estado emocional humano e configuram-se fatores primordiais para a execução de diferentes tarefas diárias.

O capítulo seguinte irá discorrer sobre a legislação nacional vigente e também as internacionais que se fazem necessárias no campo dos vãos envidraçados para auxiliar a compreensão dos parâmetros térmicos que estes deverão atender para que posteriormente com o avanço do trabalho, entender a relação destes com os critérios de iluminação natural relativos a edifícios habitacionais.

3. Normalização e legislação vigente no âmbito dos vãos envidraçados

3.1. Introdução

Este capítulo tem por objetivo expor a legislação e normas vigentes que condicionam o uso e a escolha dos vãos envidraçados nos edifícios, já que estes devem estar de acordo com o que é estabelecido na regulamentação em vigor.

Serão então abordados os seguintes regulamentos: 1) REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação; 2) RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas; 3) CTE – *Código Técnico de la Edificación*.

Os dois primeiros são regulamentos com vigência em Portugal e a terceira em Espanha. O estudo de caso a ser desenvolvido no capítulo 4 será de uma unidade habitacional localizada em Portugal, no entanto, será também apresentado o Código Técnico dos Edifícios de Espanha com o intuito de buscar entender as exigências de outros países situados no sul da Europa e que tenham exposição solar similar a Portugal e complementar a legislação nacional com qualquer informação que se achar pertinente.

Neste capítulo serão ponderados os critérios tidos de maior relevância para a proposta deste estudo como a disposição ideal e características fundamentais dos vãos envidraçados, o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, o fator solar, o fator de obstrução, e, se possível, os critérios relacionados à iluminação natural.

3.2. REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto)

O Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, através do REH, estabelece os requisitos energéticos para os edifícios de habitação, sejam eles novos ou sujeitos a intervenções. São definidos os parâmetros e as metodologias de caracterização do desempenho energético dos edifícios de habitação, com o objetivo de promover a melhoria do seu comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

O REH dispõe de um conjunto de Despachos e Portarias que complementam a regulamentação, entre os quais:

- Despacho n.º 15793-D/2013 – Fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária

- Despacho n.º 15793-E/2013 – Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes nas situações em que se verifique impossibilidade ou limitação no acesso a melhor informação
- Despacho n.º 15793-F/2013 – Parâmetros para o zonamento climático
- Despacho n.º 15793-H/2013 – Regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis
- Despacho n.º 15793-I/2013 – Metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária
- Despacho n.º 15793-K/2013 – Parâmetros térmicos
- Portaria n.º 349-B/2013 – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções
- Portaria n.º 349-A/2013 – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções (alteração à Portaria n.º 349-B/2013)

Além destes, a publicação ITE 50 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC, 2006) também se destina a apoiar o REH na realização de estudos do âmbito do desempenho térmico de edifícios, em que, através de tabelas, são facultados os valores convencionais de cálculo de condutibilidade térmica de materiais e ainda resistências térmicas superficiais para diversos elementos e soluções construtivas correntemente utilizadas em Portugal, entre os quais os vãos envidraçados.

Posto isto, para o seguimento desta etapa do trabalho, considerou-se que os requisitos mais relevantes, que serão apresentados nos pontos seguintes, se encontram localizados na Portaria n.º 349-B/2013, no Despacho n.º 15793-K/2013, no Despacho n.º 15793-I/2013 e nas tabelas do ITE50.

3.2.1. Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados

A Portaria n.º 349-B/2013 preconiza um valor de referência para o coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados, a depender da zona climática de inverno em que o edifício se localiza, como é possível verificar na Tabela 5. Quanto mais próximo o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado estiver do valor de referência, melhor será seu desempenho térmico, no âmbito da metodologia de cálculo do REH e no que diz respeito à transmissão pela envolvente.

É de salientar que a determinação das zonas climáticas de inverno e verão é feita com base no Despacho n.º 15793-F/2013 do presente Decreto-Lei.

Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica de referência dos vãos envidraçados, U_{ref} (adaptado da Portaria n.º 349-B/2013)

U_{ref} [W/(m ² .°C)]	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente			
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)	2,80	2,40	2,20

Em função do tipo de vão envidraçado, suas características e constituintes, o ITE 50 prevê um valor de coeficiente de transmissão térmica aplicável a locais sem ocupação noturna (U_w) e do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite (U_{wdn}) que se aplica a vãos envidraçados de locais com ocupação diurna e noturna importante, o qual deverá levar em consideração a contribuição de eventuais dispositivos de oclusão para a resistência térmica do vão envidraçado.

O valor de U_{wdn} varia consoante a permeabilidade do dispositivo de oclusão seja baixa ou elevada. A permeabilidade ao ar do dispositivo é definida pela largura e estanquidade ao ar das juntas construtivas e de montagem, existentes entre possíveis elementos móveis ou no contorno do edifício. Um dispositivo de oclusão será considerado de baixa permeabilidade, se houver um espaço de ar não ventilado ou muito fracamente ventilado entre o dispositivo e a janela (por exemplo portadas opacas, estores exteriores enroláveis, quando bem executados) (Mendes, 2010).

A Tabela 6 remete a valores destinados a vãos envidraçados verticais com caixilharia de madeira, as Tabelas 7 e 8 correspondem a vãos envidraçados verticais com caixilharia metálica, sem e com corte térmico respetivamente, e a Tabela 9 a vãos envidraçados verticais com caixilho de plástico (PVC).

Tabela 6 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia de madeira (Santos *et al*, 2006)

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² .°C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² .°C)]		
					Dispositivo de oclusão noturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	Fixa, giratória ou de correr	-	5,1	4,3	3,9	3,4
	2 (vidro duplo)		6	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 16 low e ⁽³⁾	2,8 2,6	2,5 2,4	2,4 2,3	2,2 2,0
Duplo ⁽⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela		50 a 100 mm (dist. entre janelas)	2,5	2,3	2,2	2,0

- ⁽¹⁾ U_w , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação nocturna (vd. texto 4.5).
- ⁽²⁾ U_{wdn} , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão nocturna), aplicável a locais com ocupação nocturna (vd. Texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão nocturna, $U_{wdn} = U_w$.
- ⁽³⁾ Para os vidros com baixa emissividade (low e) considera-se uma emitância $\epsilon = 0,40$. Para outros valores de ϵ vd. texto 4.5.
- ⁽⁴⁾ Nas janelas duplas admite-se que ambas as janelas têm o mesmo tipo de vidro simples e de caixilho. Para outras combinações de janelas vd. texto 4.5.

Tabela 7 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia de metálica sem corte térmico (Santos *et al*, 2006)

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² .°C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² .°C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade de ao ar elevada	Com permeabilidade de ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa	-	6,0	4,9	4,5	3,8
		giratória	-	6,2	5,0	4,6	3,9
		correr	-	6,5	5,2	4,8	4,1
	2 (vidro duplo)	fixa	6	3,9	3,4	3,2	2,8
			16	3,5	3,1	2,9	2,6
			16 low e ⁽³⁾	3,1	2,8	2,6	2,3
		giratória	6	4,3	3,7	3,4	3,0
			16	3,8	3,3	3,1	2,7
			16 low e ⁽³⁾	3,6	3,2	3,0	2,6
correr	6	4,5	3,9	3,6	3,1		
	16	4,0	3,5	3,3	2,9		
	16 low e ⁽³⁾	3,7	3,3	3,1	2,7		
Duplo ⁽⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela	fixa, giratória ou de correr	50 a 100 mm (dist. entre janelas)	3,1	2,8	2,6	2,3

Tabela 8 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia metálica com corte térmico (Santos *et al*, 2006)

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² .°C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² .°C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade de ao ar elevada	Com permeabilidade de ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, Giratória ou de correr	-	5,4	4,5	4,1	3,6
	2 (vidro duplo)		6	3,7	3,3	3,1	2,7
			16	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 low e ⁽³⁾	3,0	2,7	2,6	2,3

- ⁽¹⁾ U_w , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação nocturna (vd. texto 4.5).
- ⁽²⁾ U_{wdn} , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão nocturna), aplicável a locais com ocupação nocturna (vd. Texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão nocturna, $U_{wdn} = U_w$.
- ⁽³⁾ Para os vidros com baixa emissividade (low e) considera-se uma emitância $\epsilon = 0,40$. Para outros valores de ϵ vd. texto 4.5.
- ⁽⁴⁾ Nas janelas duplas admite-se que ambas as janelas têm o mesmo tipo de vidro simples e de caixilho. Para outras combinações de janelas vd. texto 4.5.

Tabela 9 - Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais com caixilharia de plástico (Santos *et al*, 2006)

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	$U_{wdn}^{(2)}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	13 Fixa, giratória ou de correr	-	4,9	4,1	3,8	3,3
	2 (vidro duplo)		6	3,2	2,9	2,7	2,4
			16 16 low ϵ ⁽³⁾	2,7 2,5	2,5 2,3	2,3 2,2	2,1 2,0
Duplo ⁽⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela	50 a 100 mm (dist. entre janelas)	2,4	2,2	2,1	1,9	

⁽¹⁾ U_w , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação nocturna (vd. texto 4.5).

⁽²⁾ U_{wdn} , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão nocturna), aplicável a locais com ocupação nocturna (vd. Texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão nocturna, $U_{wdn} = U_w$.

⁽³⁾ Para os vidros com baixa emissividade (low ϵ) considera-se uma emitância $\epsilon = 0,40$. Para outros valores de ϵ vd. texto 4.5.

⁽⁴⁾ Nas janelas duplas admite-se que ambas as janelas têm o mesmo tipo de vidro simples e de caixilho. Para outras combinações de janelas vd. texto 4.5.

Os valores apresentados para janelas duplas só contemplam situações em que são do mesmo tipo/material e com vidro simples corrente. Caso se utilizem janelas duplas com materiais diferentes, o ITE 50 permite calcular o valor de U_w através da expressão descrita na Equação 17 (LNEC, 2006):

$$U_w = \frac{1}{\left(\frac{1}{U_{w1}} - R_{si} - R_{se} + R_{ar} + \frac{1}{U_{w2}}\right)} \quad [\text{Equação 17}]$$

Sendo:

U_w - Coeficiente de transmissão térmica da janela dupla ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

U_{w1} e U_{w2} - Coeficientes de transmissão térmica de cada uma das janelas simples ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

R_{si} e R_{se} - Resistências térmicas superficiais interior e exterior ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);

R_{ar} - Resistência térmica do espaço de ar criado entre as janelas ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

Para janelas com vidro duplo considera-se a situação mais usual de duas folhas de vidro separadas por um perfil intercalar metálico, criando um espaço com ar seco. Se o vidro duplo for de baixa emissividade considera-se ainda uma emitância (ϵ) é igual a 0,40. Para vidros com emitâncias diferentes das estabelecidas nas tabelas das figuras anteriores (ex: vidros duplos com gás), recomenda-se que sejam consultadas as normas nacionais e europeias para calcular o coeficiente de transmissão térmica.

3.2.2. Fator solar de vãos envidraçados

O Despacho n.º 15793-K/2013 determina que o fator solar global, g_T , de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas, deve ser calculado através das equações:

a) para vidro simples (Equação 18)

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.85} \quad \text{[Equação 18]}$$

b) para vidro duplo (Equação 19)

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.75} \quad \text{[Equação 19]}$$

Onde:

g_T - Fator solar global de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas;

$g_{\perp,vi}$ - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro;

g_{Tvc} - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro.

O fator solar global permite determinar os ganhos térmicos através dos vãos envidraçados e deve ser determinado para as estações de aquecimento e de arrefecimento, considerando uma incidência da radiação solar normal à superfície do vão, corrigida de um fator, F_w , que representa a variação da incidência da radiação solar, em função da orientação.

Para o cálculo do fator solar global, deverão ser consideradas as proteções solares existentes do exterior para o interior até à primeira proteção solar opaca, inclusive. No caso de existir um dispositivo de proteção opaco exterior ao vidro, o cálculo continua sendo feito no sentido do exterior para o interior até à proteção opaca, ou seja, sem incluir o fator solar do vidro $g_{\perp,vi}$ ou as proteções interiores.

O fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície, $g_{\perp,vi}$, deve ser cedido pelo fabricante, sendo que:

1) Em casos onde não seja possível aceder a esta informação, na Tabela 10 são apresentados valores do fator solar de várias composições típicas de vidros, simples ou duplos, compreendendo vidros planos incolores, coloridos, refletantes e foscos;

2) Poderá ser efetuado o cálculo do fator solar de outras composições de vidro conforme o método especificado na norma EN 410.

Tabela 10 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{L,vi}$ (Despacho n.º 15793-K/2013)

Composição do vidro		$g_{L,vi}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
	Vidro Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm
Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm		0,75
Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm		0,60
Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm		0,55
Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm		0,50
Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm		0,45
Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm		0,52
Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm		0,40
Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm		0,35
Tijolo de Vidro		0,57
Fosco		(1)

(1) – Nas situações de vidro foscado, podem ser utilizados valores de fator solar correspondentes às soluções de vidro incolor de igual composição.

As soluções mais correntes são o vidro simples incolor de 6mm ou o vidro duplo incolor com um pano de 4 a 8 mm e o outro pano de 5mm.

Relativamente aos dispositivos de proteção solar, na Tabela 11 encontram-se os valores do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, permanente ou móvel, totalmente ativados (g_{Tvc}), para vidros simples e duplos.

Tabela 11 - Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} (Despacho n.º 15793-K/2013)

Tipo de Proteção		g_{Tvc}					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Proteções exteriores	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Por meio da Tabela 12 é possível identificar que cores se consideram como clara, média e escura. As cores clara, média e escura são definidas em função do coeficiente de reflexão da superfície exterior da proteção para o coeficiente de absorção de algumas cores típicas.

Tabela 12 - Coeficiente de absorção da radiação solar, a (Despacho n.º 15793-K/2013)

Cor	a
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

São consideradas como ligeiramente transparentes as proteções com transmitância solar entre 0,05 e 0,15 inclusive, como transparentes aquelas cuja transmitância solar se encontra compreendida entre 0,15 e 0,25 e como muito transparentes aquelas cuja transmitância solar é superior a 0,25.

Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento - Inverno

Para o inverno considera-se que os dispositivos de proteção solar móveis estão totalmente abertos, como forma de maximizar o aproveitamento da radiação solar para as necessidades de aquecimento. Então, considera-se que o fator solar de inverno g_i é igual ao fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes $g_i = g_{Tp}$ que, no caso de ausência desses dispositivos, será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal (Tabela 10) afetado do fator de seletividade angular, mediante a expressão $g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi}$ [Equação 20].

Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento - Verão

Para esta estação, com o objetivo de minimizar a incidência de radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis encontram-se ativos uma fração do tempo que depende do octante no qual o vão está orientado. A Equação 21 apresenta a forma de cálculo do fator solar global de Verão.

$$g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{Tp} \quad \text{[Equação 21]}$$

Em que:

F_{mv} - Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados;

g_T - Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

g_{Tp} - Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

Na ausência de dispositivos de proteção solar fixos, g_{Tp} corresponde a $F_{w,v} \cdot g_{\perp,vi}$. O valor de F_{mv} , em função da orientação do vão é obtida de acordo com a Tabela 13 e caso não existam dispositivos de proteção solar móveis, $F_{mv} = 0$.

Tabela 13 - Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, F_{mv} (Despacho n.º 15793-K/2013)

Orienta�o do v�o	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
F_{mv}	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

Fator de corre o da seletividade angular dos vãos envidraçados

O fator de corre o da seletividade angular dos envidraçados (F_w) corresponde   redu o dos ganhos solares causada pela varia o das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radia o solar direta. Para a esta o de aquecimento, o fator $F_{w,i}$ toma o valor 0,9. Já para a esta o de arrefecimento e nos v os com vidro plano (incolor, colorido ou refletante) simples ou duplo, a redu o dos ganhos solares causada pela varia o do ângulo de incidência da radia o solar   obtida conforme a Tabela 14, sendo que, nos restantes casos, incluindo os v os no plano horizontal, o fator $F_{w,v}$ toma o valor 0,9.

Tabela 14 - Fator de corre o da seletividade angular dos envidraçados na esta o de arrefecimento, $F_{w,v}$ (Despacho n.  15793-K/2013)

Orienta�o do v�o	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

Por fim, a Portaria n.  349-B/2013 estabelece ainda que os envidraçados cujo somatório das áreas dos vãos envidraçados (A_{env}) seja superior a 5% da área de pavimento do compartimento (A_{pav}) por estes servido e desde que não orientados no quadrante Norte inclusive, devem apresentar um fator solar global do v o envidraçado (g_T) com os dispositivos de prote o 100% ativados, que obedeça às seguintes condi o es:

a) Se $A_{env} \leq 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tmáx} \quad \text{[Equa o 22]}$$

b) Se $A_{env} > 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tmáx} \cdot \left(\frac{A_{env}}{A_{pav}} \right)^{0,15} \quad \text{[Equa o 23]}$$

Sendo:

g_T – Fator solar global do v o envidraçado com todos os dispositivos de prote o solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício;

$g_{T_{máx}}$ – Fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados;

A_{env} – Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento (m^2);

A_{pav} – Área de pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s) (m^2).

O valor do fator solar global máximo admissível irá depender da zona climática de verão e da classe de inércia do edifício como se pode observar na Tabela 15.

Tabela 15 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, $g_{T_{máx}}$ (Portaria n.º 349-B/2013)

$g_{T_{máx}}$	Zona climática		
	V1	V2	V3
Classe de Inércia			
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

A classe de inércia térmica de um edifício deverá ser calculada de acordo com o que se encontra estabelecido no Despacho n.º 15793-K/2013. Para que um edifício seja considerado de classe de inércia térmica fraca, sua massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento (I_t) precisa ser inferior a 150 kg/m^2 . Se estiver entre 150 e 400 kg/m^2 corresponde à classe média e se for superior a 400 kg/m^2 corresponde à classe de inércia forte.

3.2.3. Fator de obstrução da radiação solar

De acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013, o fator de obstrução dos vãos envidraçados, F_s , representa a redução na radiação solar que incide nestes devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, nomeadamente:

a) Obstruções exteriores ao edifício, tais como outros edifícios, orografia, vegetação;

b) Obstruções criadas por elementos do edifício, tais como outros corpos do mesmo edifício, palas, varandas e elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia.

O valor do fator de obstrução obtém-se através da Equação 24:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad \text{[Equação 24]}$$

Onde:

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício.

Em caso nenhum o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser inferior a 0,27. Segundo o Despacho n.º 15793-I/2013, o X_j representa o fator de orientação para as diferentes exposições e seus valores se encontram na Tabela 16.

Tabela 16 - Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j (Despacho n.º 15793-I/2013)

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

Sombreamento do horizonte por obstruções

O fator de sombreamento do horizonte, F_h , representa o efeito do sombreamento provocado por obstruções exteriores longínquas ao edifício ou por edifícios vizinhos a depender do ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento. Despreza-se o efeito do sombreamento do horizonte no verão, tomando o fator F_h um valor igual a 1.

O ângulo de horizonte, α , é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal ao envidraçado (Figura 22).

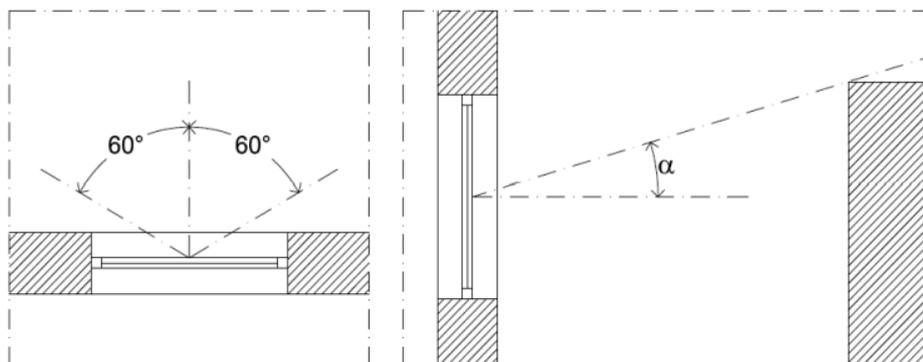


Figura 22 - Ângulo do horizonte, α (Despacho n.º 15793-K/2013)

Este ângulo deve ser calculado individualmente para cada vão envidraçado. Caso não exista informação disponível para o cálculo, o fator de sombreamento do horizonte F_h deve ser determinado mediante a adoção de um ângulo de horizonte por defeito de 45° em ambiente urbano ou de 20° para edifícios isolados localizados fora das zonas urbanas.

Para o inverno, os valores dos fatores de correção de sombreamento para condições climáticas médias típicas, para as latitudes de Portugal Continental, da Região Autónoma da Madeira (RAM) da Região Autónoma dos Açores (RAA) estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores do fator de sombreamento do horizonte F_h na estação de aquecimento (Despacho n.º 15793-K/2013)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Sombreamento por elementos horizontais e verticais

O sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes aos vãos envidraçados ou por elementos verticais, dos quais palas, varandas e outros elementos de um edifício, depende do comprimento/ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local. Os valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais e verticais, F_o e F_f respetivamente, para as estações de aquecimento e arrefecimento, se encontram disponíveis da Tabela 18 a 21.

Tabela 18 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de aquecimento (Despacho n.º 15793-K/2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE /SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabela 19 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de arrefecimento (Despacho n.º 15793-K/2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE /SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

Tabela 20 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de aquecimento (Despacho n.º 15793-K/2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Tabela 21 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de arrefecimento (Despacho n.º 15793-K/2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

Caso seja necessário levar em consideração a fração envidraçada para o cálculo do fator solar ou do fator de obstrução dos vãos envidraçados, o regulamento apresenta valores típicos da fração envidraçada de diferentes tipos de caixilharia como demonstrado na Tabela 22.

Tabela 22 - Fração envidraçada, F_g (Despacho n.º 15793-K/2013)

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

3.3. RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas (Decreto-Lei 38:382 de 7 de agosto de 1951)

O Regulamento Geral das Edificações Urbanas está expresso num Decreto-Lei criado em 1951, que surgiu da necessidade de se atualizarem as condições de salubridade dos edifícios urbanos, como também de os construir com a rigidez exigida, com proteção contra o risco de incêndios e ainda garantir as condições mínimas de estética. É um documento que interessa a todos os serviços do Estado e dos corpos administrativos, a todos os técnicos e profissionais do setor da construção civil e também ao público em geral para que seja possível proporcionar aos habitantes e usuários condições vantajosas para a saúde e bem-estar, segurança e efeito estético agradável.

Qualquer tipo de obra de construção civil, execução de edificações novas, reconstrução, ampliação, alteração, reparação ou demolição de edifícios e obras existentes, como também trabalhos de topografia local, dentro do perímetro urbano e

das zonas rurais de proteção fixadas pelas sedes de concelho estão sujeitas às disposições do regulamento.

O regulamento dita um conjunto de requisitos destinados a diversos aspetos das edificações, entre os quais as/os:

- Fundações;
- Paredes;
- Pavimentos e coberturas;
- Elementos de comunicação vertical;
- Salubridade do terreno;
- Salubridade da edificação;
- Disposições interiores das edificações e espaços livres;
- Instalações sanitárias e esgotos;
- Abastecimento de água potável;
- Evacuação dos fumos e gases;
- Alojamento de animais;
- Condições especiais relativas à estética;
- E por fim, condições especiais relativas à segurança dos edifícios.

No entanto, para o seguimento deste trabalho apenas interessam os requisitos relacionados às janelas e às especificidades dos compartimentos onde estas se encontram inseridas. Estas informações estão disponíveis nos capítulos “Disposições interiores das edificações e espaços livres” e “Instalações sanitárias e esgotos”.

O pé-direito mínimo para edifícios destinados a habitação é de 2,80 metros, sendo que este valor poderá ser reduzido para 2,60 metros em caso de edificações isoladas ou em pequenos grupos, com o máximo de três pisos habitáveis. Relativamente a estabelecimentos comerciais ou industriais, o pé-direito mínimo para o rés-de-chão é de 3 metros. O pé-direito deve ser medido entre o pavimento e o teto ou as faces interiores das vigas de teto quando aparentes.

Os compartimentos das habitações não poderão ter área inferior a 9 m², com exceção apenas dos casos previstos nas alíneas a) e b) descritas abaixo. Para mais, nas habitações com menos de cinco compartimentos, um, no mínimo, deverá ter área igual ou superior a 12 m², e nas habitações com cinco ou mais compartimentos, pelo menos dois deverão ter 12 m² de área.

- a) Nas habitações com mais de quatro ou com mais de seis compartimentos, além dos excluídos acima, poderá haver, respetivamente um ou dois compartimentos com a área reduzida de 7,50 m².
- b) O compartimento destinado exclusivamente a cozinha deverá ter a área mínima de 6m². Pode, no entanto, reduzir-se este limite a 4 m² quando o número de compartimentos for inferior a quatro.

Os compartimentos das habitações deverão ser concebidos de forma que o comprimento nunca exceda o dobro da largura e que na respetiva planta se possa

inscrever, entre paredes, um círculo de diâmetro igual ou superior a 2 m. Este valor poderá ser diminuído até 1,60 m no caso das cozinhas com área inferior a 6 m², conforme a alínea b).

Para efeitos do que se considera como compartimentos, o RGEU não inclui os vestíbulos, casas de banho, despensas e outras divisões de função similar à de qualquer destes.

Se as paredes de qualquer compartimento formarem diedros de menos de 60°, estes deverão ser chanfrados por panos com pelo menos 0,60 m de largura. A largura dos corredores não deve normalmente ser inferior a 1,20 m. Poderão, contudo, ser autorizadas larguras menores, não inferiores a 1 metro, no caso de habitações com o máximo de seis compartimentos, não incluindo vestíbulos, casas de banho, despensas e outras divisões de função similar, e ainda no caso de corredores secundários de reduzida extensão.

Todos os compartimentos (com exceção de vestíbulos, corredores pouco extensos e pequenos compartimentos destinados a despensas, vestiários e arrecadação) deverão ser sempre iluminados e ventilados por um ou mais vãos em contato direto com o exterior, e cuja área deverá ser pelo menos um décimo da área do compartimento, com o mínimo de 70 m².

Os corredores extensos, na impossibilidade de receberem luz natural direta, deverão receber luz indireta através de vãos envidraçados situados nas paredes de compartimentos confinantes que recebam luz direta abundante.

A ventilação cruzada do conjunto de cada habitação deverá ser assegurada por meio de janelas dispostas em duas fachadas opostas e deverão ser instaladas de modo que o seu afastamento de qualquer muro ou fachada fronteiras, medido perpendicularmente ao plano da janela e atendendo ao disposto na alínea c), não seja inferior a metade da altura desse muro ou fachada acima do nível do pavimento do compartimento, com o mínimo de 3 metros. Além disso não deverá haver a um e outro lado do eixo vertical da janela qualquer obstáculo à iluminação a distância inferior a 2 metros, devendo garantir-se, em toda esta largura, o afastamento mínimo de 3 metros acima fixado.

- c) Sempre que nas fachadas sobre logradouros, pátios ou recantos das edificações com quaisquer construções, salientes das paredes, suscetíveis de prejudicar as condições de iluminação ou ventilação, as distâncias ou dimensões mínimas estipuladas acima serão contadas a partir dos limites extremos dessas construções.

No caso das caves, destinadas ou não para habitações, as janelas sobre as ruas ou sobre o terreno circundante não poderão ter os peitoris a menos de 60 cm acima no nível do passeio ou daquele terreno.

É importante destacar que muitas das disposições impostas pelo regulamento, como áreas, espessuras, secções, distâncias, pés direitos, números de pavimentos,

etc., correspondem a limites mínimos ou máximos, dependendo do caso, e que não devem ser ultrapassados.

3.4. Outros regulamentos e códigos existentes em países do sul da europa com exposição solar semelhante - Espanha

A Espanha, assim como Portugal, dispõe de regulamentos e códigos de desempenho térmico dos edifícios. No âmbito do Decreto-Lei 732/2019, de 20 de dezembro de 2019, foi definido o “*Código Técnico de la Edificación*” – Código Técnico do Edifício (CTE), o qual se encontra devidamente baseado em diversas normas europeias. Este regulamento técnico tem como propósito garantir condições aceitáveis de segurança e habitabilidade, sendo aplicável a edifícios novos e a edifícios sujeitos a intervenções.

Do quadro regulamentar do CTE fazem parte variados documentos de apoio relativos à Segurança Estrutural (SE), Segurança em caso de Incêndios (SI), Segurança de Utilização e Acessibilidade (SUA), Economia de Energia (HE), Proteção contra o Ruído (HR) e Salubridade (HS) do edifício.

Após analisar os documentos de apoio acima mencionados, concluiu-se que para este trabalho as informações necessárias de encontram nos documentos HE e para tal, utilizou-se como referência para os requisitos de desempenho térmico dos vãos envidraçados e aproveitamento da luz natural os seguintes documentos:

1. *Documento Básico HE, DB-HE Ahorro de energia*, 20 de dezembro de 2019;
2. *Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1*, janeiro de 2020.

Estes documentos descrevem, de forma simplificada, os métodos utilizados para o cálculo dos parâmetros característicos dos diferentes elementos da envolvente do edifício, como forma de assegurar o conforto dos seus ocupantes e o uso racional da energia. Em seguida, será exposta a metodologia de cálculo e os valores limites para os requisitos dos vãos envidraçados.

Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados

O coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados é calculado por intermédio da Equação 25 e se encontra em conformidade com a norma EN ISO 10077:

$$U_H = \frac{A_{H,v} \cdot U_{H,v} + A_{H,m} \cdot U_{H,m} + l_v \cdot \psi_v + A_{H,p} \cdot U_{H,p} + l_p \cdot \psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}} \quad [\text{Equação 25}]$$

Em que:

U_H – Coeficiente de transmissão térmica da abertura (janela, claraboia ou porta) [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

$U_{H,v}$ – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

$U_{H,m}$ – Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

$U_{H,p}$ – Coeficiente de transmissão térmica da zona da caixa de estore [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];

$A_{H,v}$ – Área do vidro [m^2];

$A_{H,m}$ – Área do caixilho [m^2];

$A_{H,p}$ – Área da zona da caixa de estore [m^2];

l_v – Perímetro de ligação entre o caixilho e o vidro [m];

l_p – Perímetro de ligação entre o caixilho e a caixa de estore [m];

ψ_v – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre o caixilho e o vidro [$W/m \cdot ^\circ C$].

ψ_p – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre o caixilho e a caixa de estore [$W/m \cdot ^\circ C$].

Os valores do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados dependerão da zona climática de inverno em que o edifício se encontra inserido e não deverão ultrapassar os limites máximos demonstrados na Tabela 23.

Tabela 23 - Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] (adaptado do Documento Básico HE, 2019)

Elemento	Zona climática de inverno				
	A	B	C	D	E
Vãos envidraçados (Conjunto da caixilharia, vidro e caixa de estore) (U_H)	2,70	2,30	2,10	1,80	1,80

Nota: As janelas em unidades com atividade comercial podem aumentar o valor da U_H em 50%.

A fórmula de cálculo da acima mencionada difere com a utilizada em Portugal apenas na inclusão do elemento caixa de estore. Relativamente aos limites máximos do coeficiente de transmissão térmica para as três primeiras zonas climáticas, estes se encontram próximos aos valores de referência estabelecidos pelo REH, em que para as zonas climáticas I1, I2 e I3 os valores de U_{ref} são $2,80W/m^2 \cdot ^\circ C$, $2,40W/m^2 \cdot ^\circ C$ e $2,20W/m^2 \cdot ^\circ C$, respetivamente.

A Espanha dispõe de duas zonas climáticas adicionais, quando comparado a Portugal, e para ambas o valor de $U_{máx}$ é $1,80W/m^2 \cdot ^\circ C$. A caracterização das zonas climática de Espanha é realizada de forma mais simplificada que a metodologia que o REH estabelece para Portugal. Não há a necessidade de se efetuar cálculos, apenas

identifica-se o distrito/província e a altitude em rela o ao nível do mar (h) (Tabela 24). Sendo assim, um mesmo distrito/província tanto pode ter uma única zona climática, como pode ter seis.

Tabela 24 - Zonas climáticas de alguns distritos/províncias da Espanha (adaptado do Documento Básico HE, 2019)

Província	Altitud sobre el nivel del mar (h)																						
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 300 m
Albacete	C3										D3					E1							
Alicante/Alacant	B4					C3					D3												
Almer�a	A4		B4			B3			C3					D3									
Araba/�lava	D1										E1												
Asturias	C1		D1								E1												
�vila	D2										D1					E1							
Badajoz	C4					C3			D3														
Balears, Illes	B3					C3																	
Barcelona	C2					D2			D1					E1									
Bizkaia	C1					D1																	
Burgos	D1										E1												
Cáceres	C4										D3					E1							
Cádiz	A3		B3			C3			C2					D2									
Cantabria	C1		D1								E1												
Castellón/Castell�	B3		C3					D3			D2					E1							
Ceuta	B3																						

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear a serem utilizados para o cálculo do U_H se encontram na Tabela 25 e estes dependerão do tipo de vidros e das caixilharias utilizadas.   possível observar que os valores para os elementos com espaçadores convencionais são os mesmos utilizados em Portugal (Tabela 1 – cap. 2.3.2), baseados na norma ISO 10077-1.

Tabela 25 - Coeficiente de transmissão térmica linear para os vidros e para as caixilharias [W/m. C] (adaptado do Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020)

Material da caixilharia	Vidro simples	Vidro duplo ou triplo	Vidro duplo com baixa emissividade
			ou triplo com duas camadas de baixa emissividade
Madeira ou PVC	0,00	0,06 / 0,05	0,08 / 0,06
Metálica com corte térmico	0,00	0,08 / 0,06	0,11 / 0,08
Metálica sem corte térmico	0,00	0,02 / 0,01	0,05 / 0,04

Nota: Valores para elementos com espaçadores convencionais e para elementos com melhor desempenho térmico.

Fator solar de vãos envidraçados

Fator solar de vãos envidraçados sem dispositivos de prote o ativos

A Tabela 26 mostra os valores representativos do fator solar global de diferentes tipos de vãos envidraçados sem dispositivos de prote o ativo ($g_{gl;wi}$):

Tabela 26 - Fator solar do vão envidraçado sem dispositivo de proteção ativo ($g_{gl;wi}$)
(adaptado do *Documento de Apoio al Documento Básico DA DB-HE/1*, 2020)

Tipo	$g_{gl;n}$	$g_{gl;wi}$
Vidro simples	0,85	0,77
Vidro duplo	0,75	0,68
Vidro duplo com baixa emissividade	0,67	0,60
Vidro triplo com baixa emissividade	0,50	0,45
Janela dupla	0,75	0,68

Os valores deste fator são obtidos através da multiplicação do valor do fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície, $g_{gl;n}$, por um fator de correção de dispersão de vidro, $F_w = 0,90$, que corresponde ao fator de seletividade angular, o mesmo utilizado no REH. Logo, $g_{gl;wi} = g_{gl;n} \times F_w$ [Equação 26].

Fator solar de vãos envidraçados com dispositivos de proteção móvel ativos

O cálculo do fator solar de vãos envidraçados com dispositivos de proteção móvel ativados ($g_{gl;sh;wi}$) segue o preconizado na norma EN ISO 52022-3, porém não foi possível o acesso a esta, já que se trata de uma norma paga, então não será possível apresentar de forma detalhada com se obtém os valores finais disponíveis na Tabela 27. Este fator, assim como no REH, varia consoante o tipo de vidro, o tipo de dispositivo de proteção, sua opacidade e sua posição em relação ao vidro. Fazendo uso da tabela representada na Figura 55 torna-se desnecessário a realização de cálculos. Basta identificar os elementos que compõem o vão envidraçado e suas características e já se obtém o valor de $g_{gl;sh;wi}$.

Tabela 27 - Fator solar de vãos envidraçados com dispositivos de proteção móvel ativados ($g_{gl;sh;wi}$) (adaptado do Documento de Apoio al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020)

Fator solar do dispositivo de proteção		Proteção exterior				Proteção interior			
		$\rho_{e,B}$				$\rho_{e,B}$			
$T_{e,B}$	Tipo de vidro	branco	creme	escuro	preto	branco	creme	escuro	preto
0	Vidro simples	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,69
	Vidro duplo	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidro duplo com baixa emissividade	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidro triplo com baixa emissividade	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2	Vidro simples	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidro duplo	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidro duplo com baixa emissividade	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidro triplo com baixa emissividade	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4	Vidro simples	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidro duplo	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidro duplo com baixa emissividade	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidro triplo com baixa emissividade	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

Para a obtenção dos valores de $g_{gl;sh;wi}$ acima, são tomados os valores do fator solar do tipo de dispositivo de proteção ($\tau_{e,B}$) e do fator de reflexão do mesmo em função da cor ($\rho_{e,B}$) presentes na Tabela 28, bem como o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_{gl}) apresentado na Tabela 29 e o fator solar à incidência normal ($g_{gl;n}$) na Tabela 26.

Tabela 28 - Fator solar do dispositivo de proteção ($\tau_{e,B}$) e fator de reflexão do dispositivo de proteção ($\rho_{e,B}$) (adaptado do Documento de Apoio al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020)

Tipo de proteção	Fator solar do dispositivo de proteção ($T_{e,B}$)	Fator de reflexão do dispositivo de proteção (Opacidade) ($\rho_{e,B}$)			
		branco	creme	escuro	preto
Opaco (persianas)	0	0,7	0,5	0,3	0,1
Ligeiramente transparente (toldos)	0,2	0,6	0,4	0,2	0,1
Muito transparente (cortinas)	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1

Tabela 29 - Coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_{gl}) (adaptado do Documento de Apoio al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020)

Tipo de vidro	U_{gl} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
Vidro simples	5,7
Vidro duplo	3,0
Vidro duplo com baixa emissividade	1,6
Vidro triplo com baixa emissividade	1,25

O valor de $g_{gl;sh;wi}$ também pode ser utilizado para definir a eficiência da proteção solar adotada, com base na classificação da eficiência de proteção solar estabelecida pela EN 14501 apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 - Eficiência da proteção solar em função do valor de $g_{gl;sh,wi}$ (adaptado do *Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020*)

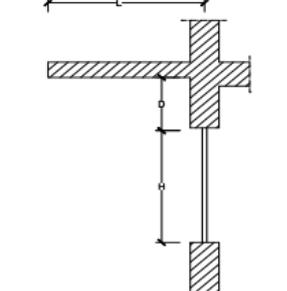
Classe (EN 14501)	0	1	2	3	4
Eficiência	Mínima	Pequena	Moderada	Eficiente	Muito eficiente
$g_{gl;sh,wi}$	$g_{gl;sh,wi} > 0,5$	$0,35 < g_{gl;sh,wi} < 0,5$	$0,15 < g_{gl;sh,wi} < 0,35$	$0,10 < g_{gl;sh,wi} < 0,15$	$g_{gl;sh,wi} < 0,10$

Fator de obstrução nos vãos envidraçados

O fator de sombreamento nos vãos envidraçados, $F_{sh,obst}$, por obstáculos externos ao envidraçado (varandas ou palas horizontais, recuos e lâminas horizontais e verticais) estão apresentados sob forma tabular localizadas nas Tabelas 31 a 34.

Este método de determinação do fator de obstrução é mais simplificado que o método do REH, sendo necessário apenas determinar a razão entre as dimensões dos obstáculos e do vão envidraçado e sua orientação face ao Norte. Em caso de não se conseguir precisar o valor de $F_{sh,obst}$, deve ser considerado igual à unidade.

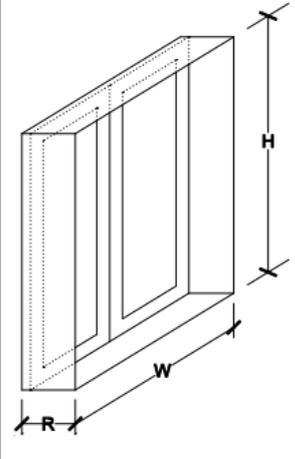
Tabela 31 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($F_{sh,obst}$): Varandas ou palas horizontais (*Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020*)

		ORIENTACIONES DE FACHADAS				
			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22	
	$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60	0,39	
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27	
	$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65	
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43	
	$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75	

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

NOTA: Os vãos envidraçados orientados a Norte tomam o valor 1.

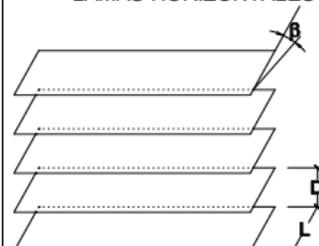
Tabela 32 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($F_{sh,obst}$): Recuos (Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020)



		ORIENTACIONES DE FACHADAS			
		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

NOTA: Os vãos envidraçados orientados a Norte tomam o valor 1.

Tabela 33 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($F_{sh,obst}$): Lâminas horizontais (Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020)

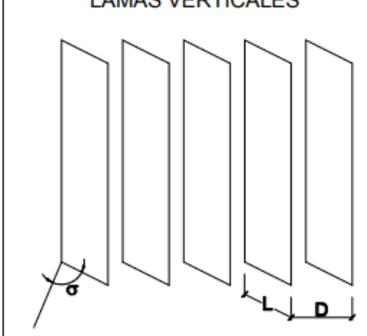


LAMAS HORIZONTALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0	30	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,49	0,42	0,26
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

NOTA 1: Os valores do fator de sombreamento indicados nestas tabelas foram calculados para uma relação D/L igual ou inferior a 1. O ângulo σ deve ser medido da normal para a fachada em direção ao plano das persianas, e é considerado positivo no sentido horário.

NOTA 2: Os vãos envidraçados orientados a Norte tomam o valor 1.

Tabela 34 - Fator de obstrução para obstáculos da fachada ($F_{sh,obst}$): Lâminas verticais (Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1, 2020)



LAMAS VERTICALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTA 1: Os valores do fator de sombreamento indicados nestas tabelas foram calculados para uma relação D/L igual ou inferior a 1. O ângulo σ deve ser medido da normal para a fachada em direção ao plano das persianas, e é considerado positivo no sentido horário.

NOTA 2: Os vãos envidraçados orientados a Norte tomam o valor 1.

Relativamente aos requisitos de iluminação natural o CTE dispõe de alguns critérios para aproveitamento da luz natural. Devem ser instalados sistemas de aproveitamento da luz natural que ajustem, de forma automática e proporcional à quantidade de luz natural, o nível de iluminação das lâmpadas localizadas a menos de 5m de uma janela e das lâmpadas sob uma claraboia, quando $T(A_w/A) > 0,11$ for cumprida juntamente com qualquer uma das seguintes condições:

- a) Zonas com envidraçados onde o ângulo θ é superior a 65 graus ($\theta > 65^\circ$) (Figura 23):

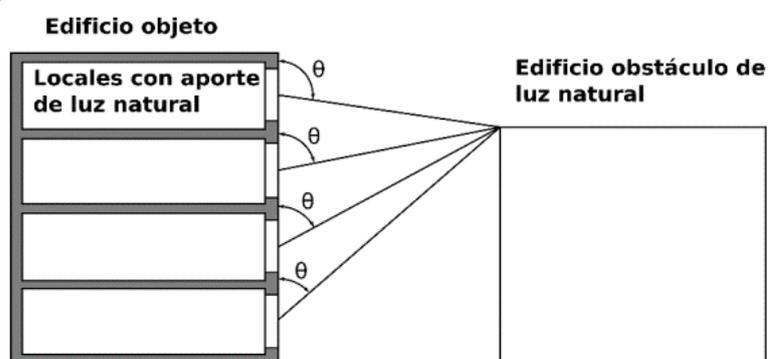


Figura 23 - Aproveitamento da luz natural para envidraçados onde o ângulo o edifício obstáculo é superior a 65 graus (adaptado do Documento Básico HE, 2019)

- b) Zonas com envidraçados voltados para pátios ou átrios descobertos com uma largura superior ao dobro da distância entre a cota de nível do piso em consideração e o telhado do edifício: $a_i > 2h_i$ (Figura 24)

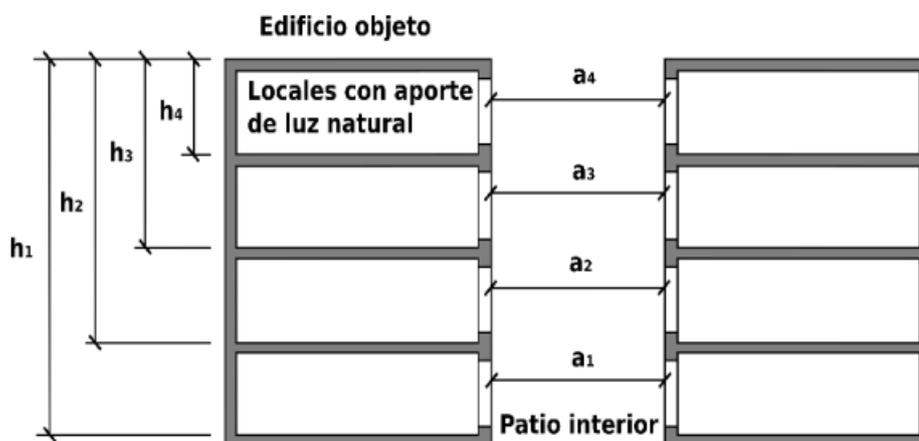


Figura 24 - Aproveitamento da luz natural para envidraçados voltados para pátios descobertos (adaptado do Documento Básico HE, 2019)

- c) Zonas com envidraçados voltados para pátios ou átrios cobertos por outros envidraçados onde: $a_i > 2h_i/T_c$ (Figura 25)

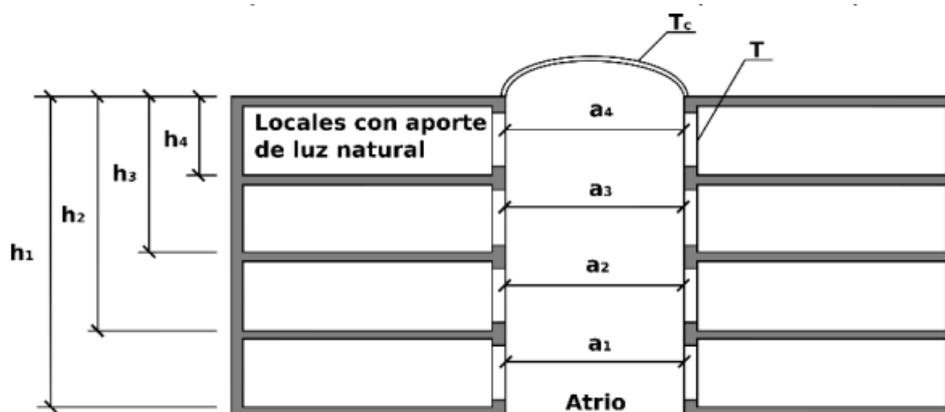


Figura 25 - Aproveitamento da luz natural para envidraçados voltados para pátios ou átrios cobertos por outros envidraçados (adaptado do Documento Básico HE, 2019)

Em que:

T – Coeficiente de transmissão de luz dos vidros das janelas do ambiente (em percentagem);

A_w –  rea envidraçada da janela na zona (m^2);

A –  rea total das fachadas com janelas para o exterior ou para o pátio interior ou  trio (m^2), no caso de zonas com envidraçados para o exterior, ou a área total das superfícies interiores (piso + teto + paredes + janelas) (m^2), no caso de zonas com envidraçados para pátios ou átrios;

θ –  ngulo medido do ponto médio do envidraçamento até   altura máxima do edifício/obstáculo (graus sexagesimais);

a_i – Largura do pátio ou do  trio (m);

h_i – Distância piso em estudo ao telhado do edifício (m);

T_c – Coeficiente de transmissão da luz do vidro do recinto do pátio (em percentagem).

Entretanto,   de se destacar que os sistemas de aproveitamento da luz natural não se aplicam aos espaços comuns em edifícios residenciais, a quartos de hospitais, a quartos em hotéis, a albergues, etc., bem como lojas e pequenas empresas. A nível de valores limites (mínimos ou máximos) para a ilumina o, o CTE são dispõe dos mesmos para a ilumina o artificial e dos quais se excluem os ambientes internos em habita es.

E por fim, no que toca aos requisitos de salubridade dos edifícios, nomeadamente as exigências geométricas, assim como foi exposto no RGEU, não foi possível

encontrá-los no CTE. Da salubridade apenas foram encontrados requisitos que dizem respeito à proteção contra humidades, gestão de resíduos, utilização e evacuação de águas e qualidade do ar interior.

3.5. Conclusões sobre os regulamentos analisados

De acordo com o que foi apresentado ao longo deste capítulo é possível perceber que as exigências a nível dos vãos envidraçados (coeficiente de transmissão térmica, fator solar, fator de obstrução) variam não só consoante as características dos vãos envidraçados (materiais e dispositivos de proteção internos e/ou externos), mas também consoante a localização e orientação dos mesmos.

O estudo sobre as exigências do CTE relativamente aos vãos envidraçados possibilitou a compreensão dos requisitos impostos em Espanha e permitiu concluir que a metodologia e os valores utilizados por eles são semelhantes aos aplicados em Portugal, o que faz muito sentido, visto que são países contíguos e possuem condições climáticas muito parecidas. Todavia, para a realização do presente trabalho serão usados como referência para os cálculos e simulações que este estudo pretende desenvolver, os valores de coeficiente de transmissão térmica, de fator solar e de fator de obstrução do REH, a fim de se obter resultados que sejam compatíveis com o cenário do caso de estudo. Tratando-se das exigências do RGEU, estas serão levadas em consideração no caso de estudo, por forma a garantir que as áreas e dimensões dos ambientes e a disposição dos vãos envidraçados estejam em conformidade com o que é prescrito pelo regulamento. O esclarecimento de quais as exigências a serem atendidas e os valores de referência a serem empregues no estudo de caso, no que corresponde ao desempenho térmico dos vãos e questões de salubridade no espaço interior, será feito no capítulo 5 à medida que forem apresentadas as especificidades da unidade habitacional alvo de estudo e dos vãos envidraçados e seus elementos constituintes.

Quanto ao critério da iluminação natural foi possível constatar que é um tanto negligenciado, pois não existem normas referentes a este tema em Portugal e o CTE aborda o assunto de forma superficial, pelo que para que se consiga obter valores de referência para os níveis de iluminação, serão utilizados como base os requisitos estabelecidos por alguns sistemas de avaliação da sustentabilidade como forma de se avaliar a qualidade de iluminação natural no caso de estudo proposto por este trabalho. Estes requisitos serão retratados no capítulo seguinte.

4. Metodologias de desempenho térmico e avalia o da qualidade da ilumina o natural em edifícios residenciais

4.1. Sistemas de avalia o de sustentabilidade no âmbito dos vãos envidraçados

O setor da constru o civil causa múltiplos impactos na sociedade, dos quais ambientais, sociais e econ micos. Os edifícios têm o objetivo de trazer aos seres humanos um ambiente interior confortável e seguro, e instala es cujos usos se adequem às suas necessidades e impulsionem o desenvolvimento da economia e cultura. Todavia, a constru o e a utiliza o de edifícios e toda as atividades inerentes   esta utiliza o pode sobrecarregar o meio ambiente com desperdícios, polui es e emissões de carbono.

Torna-se indispensável pensar na sustentabilidade do parque construído, a fim de aumentar o período de vida útil dos edifícios, reduzir os impactos gerados ao meio ambiente e por consequência promover melhor qualidade de vida   sociedade. Deste modo, para que seja possível considerar uma constru o como sustentável,   necessário que as três dimensões da sustentabilidade – ambiental, social e econ mica – sejam levadas em conta nas fases de concep o, constru o, utiliza o e fim de vida.

Com o propósito de facilitar a ado o de práticas sustentáveis na constru o, foram desenvolvidos os Sistemas de Avalia o da Sustentabilidade que abordam os aspectos mais importantes quanto   concep o, constru o e opera o de edifícios eficientes e a minimiza o de seus impactos na sociedade. Os edifícios são avaliados e certificados consoante uma lista de indicadores, critérios e parâmetros, que pode ser mais ou menos longa, e que se considera os parâmetros fundamentais para os objetivos da avalia o. Isto permite avaliar o desempenho de um edifício e classific lo face a um ou mais objetivos da constru o sustentável – tecnologias de constru o, impactos ambientais e impactos socioecon micos (Chen et al., 2015; Mateus, 2009).

Existem atualmente diversos sistemas de avalia o da sustentabilidade e todos têm o mesmo propósito, sendo que geralmente apresentam metodologias de avalia o e estruturas similares. De entre as áreas avaliadas normalmente se encontram a Gestão, Saúde e Bem-estar, Energia, Localiza o, Acessibilidade e Transportes, Eficiência da  gua, Materiais e Recursos, Resíduos e Polui o, Uso do Solo e Ecologia, Qualidade Ambiental Interior, Inova o, Integra o, entre outras.

No entanto, a proposta do presente trabalho   realizar um estudo sobre o desempenho térmico e avalia o da qualidade da ilumina o natural em v os envidraçados, logo, dos vários critérios e parâmetros analisados pelos sistemas de avalia o da sustentabilidade, apenas interessam os que estejam relacionados aos v os envidraçados.

Serão apresentados a seguir os requisitos estabelecidos por três ferramentas de avalia o no domínio dos vãos envidraçados e ilumina o natural. Dentre os

inúmeros sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios existentes, a escolha dos que serão abordados, nomeadamente o LEED, o BREAM e o SBTool, deu-se por serem sobejamente conhecidos, com ampla abrangência internacional, inclusive Portugal. Por intermédio destes sistemas será possível obter valores de referência, especialmente para os requisitos de iluminação natural, compará-los entre si e, no final, adotar os que melhor se adequam ao presente estudo.

4.1.1. LEED

A *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) é um sistema de avaliação e classificação americano desenvolvida em 1998 pelo *United States Green Building Council* (USGBC) com o objetivo de incentivar boas práticas e estabelecer padrões para a implementação de edifícios sustentáveis. Os edifícios são avaliados com base em 9 das categorias referidas no ponto anterior e no final classificados e certificados em função do seu desempenho (Chen et al., 2015).

A versão atual é a LEED v4.1, formalmente lançada em 2014, e dispõe de um conjunto de diretrizes para a conceção de edifícios (de diferentes tipologias, quer novos ou em fase de reabilitação), construção e manutenção de edifícios, design de interiores e também para o planeamento urbano de bairros e cidades (Chen et al., 2015).

O sistema LEED possui metodologias de avaliação para edifícios residenciais, entre outros, subdivididos em duas ferramentas, uma para moradias unifamiliares e edifícios residenciais multifamiliares. Para efeito deste trabalho, será apresentado o conteúdo referente a edifícios residenciais multifamiliares, pois, não se encontravam disponíveis os requisitos para vãos envidraçados em moradias unifamiliares. O documento utilizado para a obtenção dos parâmetros apresentados seguidamente é o "*LEED v4.1 RESIDENTIAL BD+C MULTIFAMILY HOMES*", atualizado em 2020.

Desempenho térmico dos vãos envidraçados

Em relação ao desempenho térmico dos vãos envidraçados apresenta como valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica (U) e fator de ganhos solares, os que constam da Tabela 35:

Tabela 35 - Valor máximo do coeficiente de transmissão térmica (U) e fator de ganhos solares de acordo com a zona climática (adaptado do USGBC (U.S. Green Building Council, 2020))

Valor de U para janelas	0,40 nas ZCs 1 e 2	0,30 na ZC 3	0,30 na ZC 4	0,27 nas ZCs 5, 6, 7 e 8
Ganho solar nas janelas	0,25 nas ZCs 1 e 3	0,25 na ZC 3	0,40 na ZC 4	Qualquer valor para as ZCs 5, 6, 7 e 8

*ZC – Zona Climática

A caracterização das zonas climáticas para efeitos dos parâmetros da LEED é feita com base na Norma Americana ASHRAE 90.1-2016 – “*Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*”. Na referida norma é possível encontrar inúmeras tabelas que caracterizam as zonas climáticas de diversos países em vários continentes, e, de acordo com esta, Portugal se encontra maioritariamente na zona climática 3, sendo que Bragança, Viseu e Vila Real se enquadram na zona 4 e Funchal na zona 2. A zona climática 2 caracteriza-se como clima quente, a 3 como temperado e a 4 como misto (Tabela 36).

Tabela 36 - Zonas climáticas de Portugal (adaptado da norma ASHRAE 90.1-2016, “*Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*”)

Portugal			
Local	Latitude	Longitude	ZC
Beja	38,02	-7,87	3
Bragança	41,80	-6,73	4
Castelo Branco	39,83	-7,48	3
Coimbra	40,20	-8,42	3
Évora	38,57	-7,90	3
Faro/Aeroporto	37,02	-7,97	3
Flores (Açores)	39,45	-31,13	3
Funchal	32,63	-16,90	2
Funchal/S.Catarina	32,68	-16,77	3
Horta	38,52	-28,72	3
Lajes (Açores)	38,77	-27,10	3
Lisboa/Portela	38,77	-9,13	3
Ponta Delgada/Norde	37,73	-25,70	3
Portalegre	39,28	-7,42	3
Porto Santo	33,07	-16,35	3
Porto/Pedras Rubras	41,23	-8,68	3
Sagres	37,00	-8,95	3
Santa Maria (Açores)	36,97	-25,17	3
Sines	37,95	-8,87	3
Viana do Castelo	41,70	-8,80	3
Vila Real	41,32	-7,73	4
Viseu	40,72	-7,88	4

Iluminação Natural

Como forma de reduzir o uso de iluminação artificial através da introdução da luz natural, o sistema LEED prevê os seguintes requisitos para os níveis mínimos de iluminação natural:

- Acesso mínimo de luz natural em cada espaço habitável: Assegurar em todas as unidades habitacionais o mínimo de 10 lux para pelo menos 90% da área

útil das divisões frequentemente ocupadas. Cada divisão deve ser avaliada individualmente.

- Luz natural adequada para as áreas comuns do edifício: Atingir níveis entre 150 e 5000 lux para pelo menos em 50% da área do piso nos espaços comuns com maior ocupação. Os ambientes com persianas ou cortinas para controle de brilho devem obedecer o mínimo de 150 lux. Neste requisito é avaliada a percentagem global de todos os espaços comuns frequentemente ocupados no edifício.

Os níveis acima prescritos devem ser calculados da seguinte forma:

- Calcular às 9h e 15h em um dia de céu claro no equinócio;
- Calcular em uma malha quadrada de, no máximo, 1,50 metros;
- Excluir persianas ou cortinas do modelo de cálculo. Incluir quaisquer obstruções internas permanentes. Mobiliário não fixo e divisórias podem ser excluídos.

E em casos de medições, estas devem ser realizadas do seguinte modo:

- Fazer as medições durante o dia, entre 1 de setembro e 30 de outubro ou 1 de março e 30 de abril;
- Para todos os espaços ocupados regularmente, exceto cozinhas, a medição deve ser feita 76 milímetros acima do piso;
- Nas cozinhas a medição deve ser efetuada na altura da bancada;

Vista Exterior

O sistema também preconiza algumas diretrizes na intenção de melhor relacionar os ocupantes do edifício com o exterior e proporcionar vistas exteriores de qualidade. Para tal, pelo menos 50% dos espaços de maior ocupação em cada unidade habitacional devem ter uma janela com: (1) vista para a flora, fauna ou céu; ou (2) objetos a uma distância mínima de 8 metros da janela. As janelas eficientes devem fornecer uma imagem clara do exterior, não obstruída por fibras, películas, vidros com padrões ou coloridos que distorçam o equilíbrio de cores.

4.1.2. BREEAM

O *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) é um sistema de avaliação de sustentabilidade do Reino Unido e foi o pioneiro entre os sistemas de avaliação. Foi lançado em 1993 pelo *Building Research Establishment* (BRE) e estabelece critérios para o desempenho ambiental e certificação de edifícios domésticos e não domésticos, novos ou pré-existentes, em bairros, cidades e em projetos de infraestrutura.

O documento utilizado para a obtenção dos parâmetros que serão apresentados em seguida foi o manual técnico “*BREEAM International New Construction 2016*” (BREEAM, 2016) e neste não há distinção entre edifícios residenciais multifamiliares e moradias unifamiliares no que toca a critérios de iluminação natural dos ambientes internos.

Iluminação Natural

O sistema disponibiliza duas formas de avaliação da iluminação natural, uma através da iluminância e outra por meio do fator de luz diurna. A avaliação pode ser conduzida segundo a metodologia que melhor convém.

Em relação à iluminância, os valores da iluminância média e mínima para o ponto mais desfavorável de cada compartimento da unidade habitacional encontram-se na Tabela 37, caso se adote esta metodologia, ambos os requisitos das iluminâncias devem ser atendidos.

Tabela 37 - Requisitos de iluminância para edifícios habitacionais (adaptado do *BREEAM*, 2016)

Ambiente	Área mínima a satisfazer (m ²)	Iluminância média ambiente	Iluminância mínima para o ponto mais crítico
Cozinha	100%	Pelo menos 100 lux para 3540 horas/ano ou mais	Pelo menos 30 lux para 3540 horas/ano ou mais
Sala de estar, sala de jantar, sala de estudo e escritório doméstico			

Já a segunda opção, para a avaliação da iluminação natural, estabelece-se o Fator Luz-Dia médio para cada ambiente em função da latitude em que se situa o edifício, como se pode observar na Tabela 38.

Tabela 38 - Requisitos do Fator Luz-Dia médio para edifícios habitacionais consoante a latitude (adaptado do *BREEAM*, 2016)

Ambiente	Fator médio de luz diurna de acordo com a latitude (graus)						Área mínima a satisfazer (m ²)	Outros requisitos
	≤40	40-45	45-50	50-55	55-60	≥60		
Cozinha e espaços comuns do edifício ou espaços não habitáveis	1,5%	1,7%	1,8%	2,0%	2,1%	2,2%	80%	(a)
Sala de estar, sala de jantar, sala de estudo e escritório doméstico	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%	1,6%	1,6%		

(a) Pelo menos 80% do ambiente deve ter vista do céu a partir da altura da mesa ou da secretária (0,85m em edifícios residenciais).

As percentagens de área mínima a satisfazer dizem respeito à percentagem da área total do piso dos compartimentos a serem avaliados. Por exemplo, se um empreendimento tiver 6 salas que devem ser avaliadas, cada uma com 150m² (área total 900m²), 80% desta área deverá cumprir com os requisitos. Então tem-se que pelo menos 720m², ou seja, 4,8 salas devem estar em cumprimento os requisitos de iluminação estabelecidos. O número de salas deve ser sempre arredondado por excesso, logo tem-se que 5 salas devem ter um Fator Luz-Dia médio de 1,5% (por exemplo) ou mais para cumprir o requisito. Este critério de área mínima a satisfazer também se aplica à metodologia de avaliação através da iluminância.

4.1.3. SBTool

O SBTool, anteriormente denominado de GBTool, trata-se de um quadro genérico para avaliar o desempenho sustentável de edifícios e projetos. Foi desenvolvido em 2007 pela iiSBE (*International Initiative for a Sustainable Built Environment*) que é uma organização internacional sem fins lucrativos da qual o objetivo é facilitar e promover ativamente a adoção de políticas, métodos e ferramentas para alcançar um ambiente construído global sustentável.

O SBTool é uma estrutura flexível que funciona à base de planilhas e pode ser configurada para se adequar a quase todas as regiões e condições locais ou tipo de edifício. Sua estrutura engloba uma ampla gama de questões relacionadas a edifícios sustentáveis e o âmbito do sistema pode ser modificado para ser tão específico ou tão amplo quanto desejado, com uma quantidade de critérios que variam desde 6 a mais de 100.

O sistema não dispõe, em suas planilhas, de dados relativos à componente térmica dos vãos envidraçados, pelo que será exposto apenas o conteúdo relacionado à iluminação natural.

Para que haja uma adequada iluminação natural dos compartimentos, o sistema estabelece como valores de Fator Luz-Dia, expresso em percentagem (Tabela 39):

Tabela 39 - Fator Luz-Dia para unidades residenciais em função dos *benchmarks* (adaptado do SBTool 2020 A: *regional settings for Residential Apartment and Hotel/motel occupancies*)

Benchmarks para unidades residenciais	Fator de luz do dia (%)
Negativo	1,6
Mínimo	2,0
Prática convencional	3,2
Melhor prática	4,0

Estes valores de FLD são válidos apenas aos ambientes com ocupação principal em unidades habitacionais localizadas no rés-do-chão. O sistema apresenta estes

valores em forma de *benchmarks* – níveis de desempenho – que vão desde o negativo até à melhor prática, no entanto, é exigido como desempenho mínimo obrigatório a prática convencional.

Pode-se notar que os valores de FLD tidos como satisfatórios para o BREEAM, são considerados insuficientes pelo SBTool. Por outro lado, os valores do SBTool são superiores porque correspondem exclusivamente a unidades residenciais situadas no rés-do-chão, que mediante as condições climáticas (porção de céu visível) e as condições do entorno imediato (altura total dos edifícios e distância horizontal em relação a outros edifícios ou outros elementos) pode se configurar no piso que menos recebe luz natural.

4.2. Ferramentas de simulação computacional de iluminação natural

4.2.1. Abordagem geral ao uso de simulação para iluminação

A simulação computacional é um método eficaz para estudar o desempenho dos edifícios (térmico, luminoso, acústico, energético, dentre outros). O uso de ferramentas de simulação facilita a realização das análises necessárias, permitindo obter orientações para as decisões de projeto e da avaliação do impacto ambiental do mesmo.

Hoje, existem diversas ferramentas para simulação da iluminação, tanto natural quanto artificial, que podem ser aplicadas em qualquer fase de um projeto de arquitetura e estas simulações têm como principal vantagem a viabilização de estudos quantitativos e qualitativo, possibilitando a visualização da aparência de um ambiente e a produção de um modelo fotométrico para uma estimativa de suas propriedades luminosas (Lima & Christakou, 2014).

Para avaliar a qualidade luminosa de um determinado espaço arquitetónico, independente da ferramenta de simulação a utilizar, o procedimento deverá ser o seguinte (COUTINHO, 2009; Lima & Christakou, 2014):

- O primeiro passo é elaborar um modelo tridimensional que represente o espaço a ser estudado. Este modelo deve ser representado com informações geométricas em forma de coordenadas cartesianas, x, y e z;
- A todas as superfícies devem ser aplicados materiais com informação das propriedades óticas dos materiais reais;
- Ao modelo 3D deverão ser fornecidas informações como a orientação, a localização, o tamanho e a posição dos objetos e as propriedades dos materiais em cena;
- É necessário definir as fontes luminosas, sejam elas natural e/ou artificial e optar pelo modelo de céu pretendido;

- Por fim, dar indicações sobre o ponto de visão do observador e instalar câmaras.

A partir destes dados, o resultado é obtido em forma de imagem sintetizada (Figura 26A)) ou imagem analítica em *false color* ou isolinhas (Figura 26B)). O simulador calcula como a luminosidade está distribuída, como cada objeto é iluminado, direta e indiretamente, segundo o comportamento físico da luz (COUTINHO, 2009; Lima & Christakou, 2014).

Estas ferramentas disponibilizam bibliotecas de materiais, vidros, mobiliário e lâmpadas para a iluminação artificial. É possível fazer as simulações sob diferentes modelos de céu autorizados pela CIE⁵, e para qualquer localização do planeta, bastando inserir as coordenadas geográficas do local. Algumas ferramentas de simulação permitem a determinação do Fator Luz-Dia e níveis de iluminância em determinados pontos, identificação de fontes de encadeamento, avaliação dos índices de conforto visual e previsão da economia de energia ganha pela utilização de luz natural (COUTINHO, 2009).

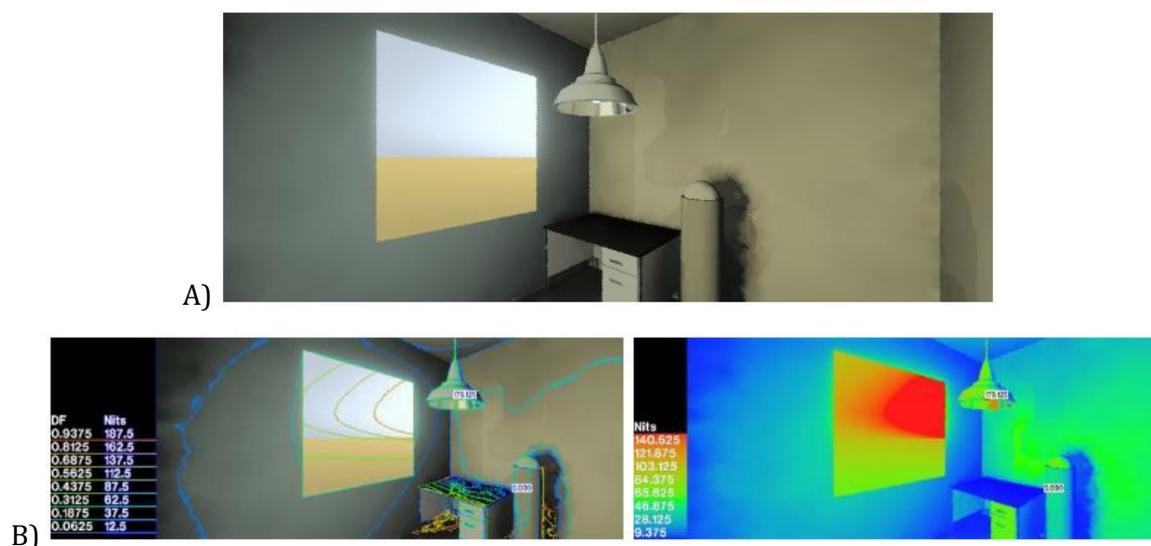


Figura 26 - Exemplo do resultado obtido pela simulação: A) imagem sintetizada; B) imagens analíticas (Coutinho, 2009)

Estas ferramentas efetuam a simulação com base na iluminação global, simulando as propriedades físicas e comportamentais da luz, em escalas macro (propagação da luz da fonte ao observador) e em escala micro (interações da luz com as características das superfícies). A iluminação global se divide nos métodos *radiosity* e *ray tracing*. O primeiro é baseado na cena, sendo independente do ponto de vista do observador – ou simplesmente “*scene-based*”. E o segundo é baseado na imagem sendo, deste modo, dependente do ponto de vista do observador – “*image-based*”. Independente do método utilizado, a técnica de iluminação global fornece imagens precisas, permitindo ainda conjugar a iluminação natural com a iluminação artificial,

⁵ *Commission Internationale de L'éclairage* – Comissão Internacional de Iluminação.

e a possibilidade de efetuar os ajustes necessários para melhorar a eficiência energética do edifício no que diz respeito ao consumo com iluminação (Lima & Christakou, 2014).

A Figura 27 exhibe em forma de fluxograma, os fatores que devem ser considerados para a realização de uma simulação computacional de iluminação, nomeadamente os *inputs* (dados de entrada) que devem ser introduzidos e os *outputs* (dados de saída) obtidos no final da simulação.

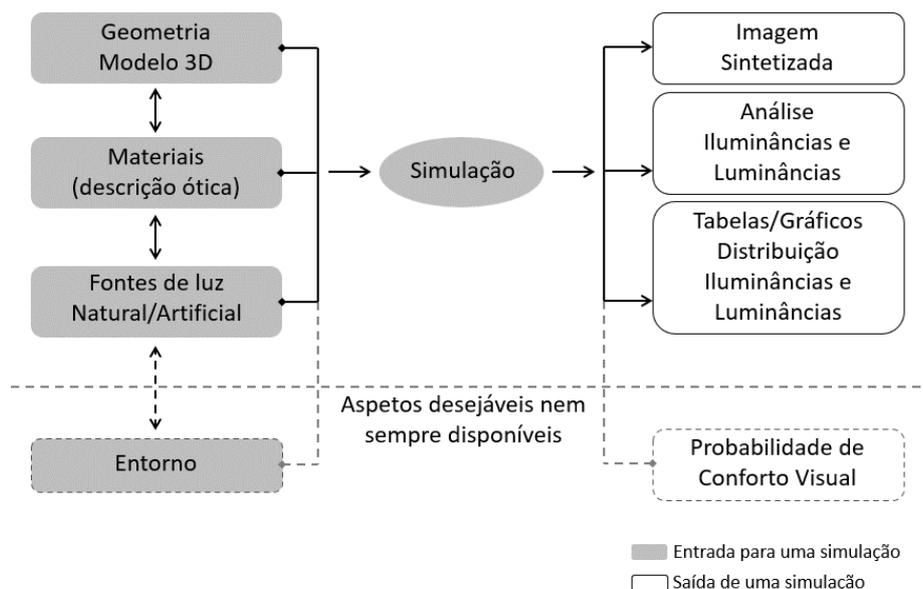


Figura 27 - Fluxograma de fatores envolvidos na simulação computacional da iluminação (Lima & Christakou, 2014)

Segundo mencionado anteriormente, a simulação é feita após a elaboração de um modelo tridimensional do espaço a ser avaliado, onde se especifica o tamanho e a posição dos objetos e as propriedades dos materiais das superfícies e a definição e a posição da fonte de luz a que se pretende avaliar, seja ela natural, artificial ou ambas. O simulador, através de algoritmos, calcula como a luminosidade está distribuída, como cada objeto é iluminado direta e indiretamente, segundo o comportamento físico da luz e exhibe os resultados de diversas formas, como imagens foto-realísticas, imagens analíticas ou gráficos e tabelas.

Ainda assim, existem outros aspetos que são de grande interesse para a simulação, mas que nem sempre se encontram disponíveis, entre estes estão as características do entorno como um *input* e a probabilidade de conforto visual como *output*. O entorno possui relação direta com a qualidade de iluminação, especialmente a natural de um ambiente interior, e a possibilidade de inserir na simulação os aspetos do espaço ao redor (como a vegetação, a altura, cor, textura e distância dos edifícios vizinhos ou de qualquer outro obstáculo) facultará resultados mais fiéis e com mais exatidão, permitindo desta forma avaliar se o conforto visual foi ou não assegurado (sem ofuscamento nem obstrução da vista e da luz). Contudo, sabe-se que há casos

em que não é possível a inserção destes dados, talvez por não se conhecer os aspetos do entorno.

São inúmeras as ferramentas de simulação de iluminação natural e/ou artificial que permitem calcular a distribuição da luz num determinado espaço e a Tabela 40 mostra uma listagem de algumas das principais ferramentas utilizadas, contudo, existem ainda muitas outras que não constam nesta lista.

Tabela 40 - Principais ferramentas de simulação de iluminação natural (Coutinho, 2009)

Software/Plataforma	Desenvolvido por
ADELINE IBM-PC/DOS	Fraunhofer Institute for Buildings – IBP - Suíça
AGI 32 IBM PC/WINDOWS	LIGHTING ANALYSTIS Inc. EUA
DAYSIM Linux, Mac OSX, Windows	Institute for Research in Construction Canadá
DeLIGHT IBM PC/WINDOWS	Lawrence Berkeley Laboratory California EUA
DESKTOP RADIANCE IBM PC/WINDOWS	GREG WARD no Lawrence Berkeley Laboratory California EUA e ...
ECOTECH IBM PC/WINDOWS	SQUARE ONE <i>research</i> PTY LTD - AUS
GENELUX-WEB WEB	Département Génie Civil et Bâtiment, França
HELIOS 32 IBM PC/WINDOWS	Heart Consultants Limited EUA
INSPIRER IBM PC/WINDOWS	INTEGRA Japão
LESO-DIAL IBM PC/WINDOWS	École Polytechnique Federale Lausanne EPFL - Suíça
LIGHTSCAPE IBM PC/WINDOWS	DISCREET – AUTODESK EUA
LIGHTSKETCH IBM PC/WINDOWS	University of California Energy Institute EUA
LIGHSTUDIO IBM PC/WINDOWS	Die Lichtplaner Alemanha
LUMEM MICRO IBM PC	Lighting Technologies Inc. Colorado EUA
POV-RAY Linux, Mac OSX, Windows	Persistence of Vision Raytracer Pty. Ltd. EUA
RADIANCE Linux, Mac OSX, SGI	GREG WARD no Lawrence Berkeley Laboratory California EUA e ...
RAYFRONT Linux, Mac OSX, Windows	ALWARE - Alemanha
RAYSHADE Linux, Mac OSX, DOS, AMIGA	STANFORD UNIVERSITY EUA
RENDERPARK Linux	Computer Graphics Research Group Katholieke Universiteit Leuven Belgica
RELUX IBM PC/WINDOWS	INFORMATIK AG Alemanha
SKYVISION IBM PC/WINDOWS	Institute for Research in Construction Canadá
SUPERLITE Mainframes, IBM-PC/DOS	Lawrence Berkeley Laboratory California EUA
VIRTUAL LIGHTING SIMULATOR WEB	Lawrence Berkeley Laboratory California EUA

Existem alguns trabalhos científicos e acadêmicos que se propuseram a conduzir um estudo avaliando e comparando diferentes ferramentas de simulação da luz natural, a fim de verificar como a ferramenta interage com o usuário. Christakou (2004) em seu trabalho, propôs uma metodologia de estudo (Figura 28) para avaliar o comportamento de quatro ferramentas de simulação, relativamente à iluminação natural, das quais a DESKTOP RADIANCE, LIGHTSCAPE, RAYFRONT e RELUX, todas estas presentes na Tabela 40.

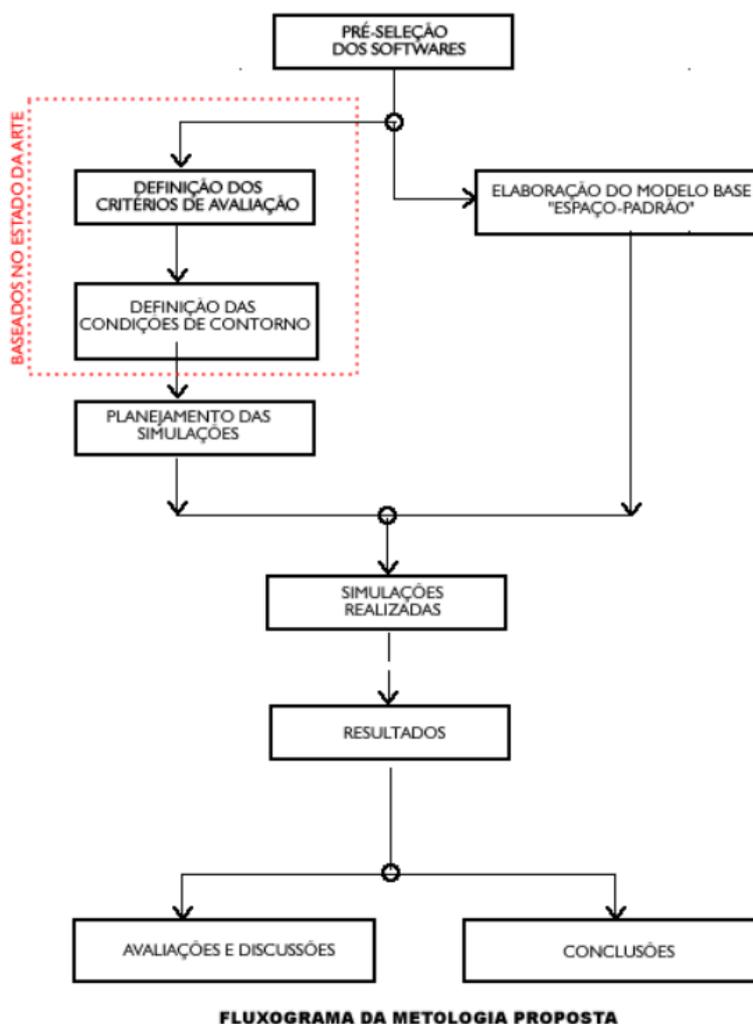


Figura 28 - Metodologia de estudo proposta por Christakou (Christakou, 2004)

Os critérios adotados e seus respectivos pesos (definidos a partir de pesquisa em outros trabalhos) para a avaliação das ferramentas acima referidas estão disponíveis na Tabela 41. Os critérios e ferramentas foram selecionados considerando os aspetos de maior prioridade aos arquitetos ao longo das diversas fases do projeto.

Tabela 41- Base para os critérios de avaliação adotados e seus respectivos pesos (Christakou, 2004)

Critério	peso
Modelagem – <i>Input</i> da Geometria	1
Interface	2
Produto obtido – <i>Output</i>	1
Parâmetros da LN	1
Propriedades das superfícies	1
Processamento	1
Validação	1
Suporte ao usuário	1

Após a realização das comparações, Christakou (2004) obteve como resultados e conclusões principais (Christakou, 2004):

1. LIGHTSCAPE

a. Pontos positivos:

- i. Interface amigável e de fácil aprendizado;
- ii. Facilidade no ajuste da câmara sintética;
- iii. Importa muitos formatos da geometria 3D;
- iv. Imprime os resultados na própria interface;
- v. Produz imagens com rapidez;
- vi. Permite alterar parâmetros da simulação e voltar o processo de cálculo de forma interativa;
- vii. Ferramentas de análise de fácil acesso e compreensão;
- viii. Dispõe de manuais e tutoriais em PDF.

b. Limitações:

- i. Não atende a todas as fases do projeto;
- ii. Não faz análise de possíveis ofuscamentos. Não gera cálculos para os valores de iluminâncias nas superfícies não oclusivas;
- iii. Imprecisão ao indicar os níveis de luz indireta e não levar em conta o pavimento externo como fonte de luz;
- iv. A simulação dos espaços arquitetônicos complexos torna-se cada vez maior consoante aumenta a complexidade da geometria.

c. Dificuldades e erros:

- i. O modelo de céu não é consistente com os padrões da CIE;
- ii. É necessário ajustar uma espessura qualquer na entidade da superfície do vidro, senão geram-se erros de cálculo;
- iii. Considera o valor da longitude para oeste de Greenwich como positivo;

- iv. As propriedades óticas dos materiais não são consistentes, pois não considera as interações da luz nas superfícies especulares.

d. Aplicabilidade:

- i. O uso desta ferramenta pelos arquitetos pode ser de grande utilidade para a apresentação de projeto, já que dispõe de recursos de animação e boa linguagem de realidade virtual, mas, como simulador, tem uso limitado na previsão da luz natural.

2. DESKTOP RADIANCE

a. Pontos positivos:

- i. Funciona como um *plug-in* dentro do AutoCAD, beneficiando-se da sua interface e das possibilidades de modelagem 3D. Não possui limites para o tamanho e complexidade da geometria;
- ii. Permite trabalhar com todas as relações de transporte de luz;
- iii. Ferramenta de análise precisa que aborda qualitativa e quantitativamente a luz natural;
- iv. Possibilidade de modelar materiais e texturas com precisão;
- v. Possibilidade de modelar o céu padrão CIE;
- vi. Tem suporte através de listas de discussão, *websites*, artigos científicos e livros.

b. Limitações:

- i. Excessiva complexidade, o que faz falta um recurso para facilitar o seu uso por um arquiteto não especializado em computação gráfica;
- ii. Facilidade de análise de possíveis ofuscamentos, embora não esteja ao alcance do usuário através da interface gráfica;
- iii. Gestor de simulação que funciona adequadamente, mas tem problemas de coordenação numa janela em específico e provoca erros de no sistema operacional e fecha prematuramente.

c. Dificuldades e erros:

- i. Adoção de parâmetros não estão de acordo como padrão mundial, considerando a longitude, a oeste de Greenwich, como positiva e o sistema de hora local independente. É possivelmente um foco gerador de erros, mesmo considerando que está documentado.

- d. Aplicabilidade:
 - i. A interface gráfica tem interação restrita com o usuário; porém, o fato de funcionar como um plug-in AutoCAD facilita a integração da simulação ao editor gráfico CAD, o que é ideal ao processo de projeção, e ainda evita desta forma problemas com importação de geometria;
 - ii. Os ajustes de nível de precisão da simulação, bem como o gestor de simulação, podem tornar o processo muito eficiente do ponto de vista do tempo necessário para simulação e do estudo de alternativas do projeto de arquitetura;
 - iii. Pode não ser adequado ao uso nas fases iniciais do projeto, pois seu algoritmo necessita de informações muito exatas de *input* e ajustes complexos para fornecer resultados adequados.

3. RAYFRONT

- a. Pontos positivos:
 - i. Gestor de arquivos de simulações eficiente, facilitando a tarefa de estudar variações, além de que, possibilita um fácil controle dos projetos;
 - ii. Não possui limites para o tamanho e complexidade da geometria;
 - iii. Funciona em múltiplos sistemas operacionais;
 - iv. Permite trabalhar com todas as relações de transporte da luz;
 - v. Ferramenta de análise precisa que aborda qualitativa e quantitativamente a predição da luz natural. Dispõe de ferramentas para tratamento e conversão de imagens;
 - vi. Possibilidade de modelar o céu do local, além do céu padrão da CIE, através de entrada de parâmetros na interface;
 - vii. Biblioteca de materiais sofisticada, com vidros avançados e painéis prismáticos;
- b. Limitações:
 - i. Facilidade de análise de possíveis ofuscamentos, embora não esteja ao alcance do usuário através da interface gráfica;
 - ii. A documentação é apenas descrita, não dispõe de tutoriais e o suporte pelo fabricante é deficiente.
- c. Dificuldades e erros:
 - i. Para alcançar resultados consistentes deve-se adotar um conjunto de parâmetros que não estão documentados

claramente, somente indiretamente através dos manuais, e diretamente ser testados empiricamente, até alcançar resultados desejados;

- ii. A interface para criação e aplicação de materiais nas superfícies é inadequada ao usuário não especialista, assim, é necessário lembrar da descrição ótica dos materiais que se deseja utilizar.

d. Aplicabilidade:

- i. Utilizado com o modelador 3DSOLAR tem grande potencial para apoiar o projeto do arquiteto. Sem o auxílio do 3DSOLAR tem um potencial baixo de aplicação ao arquiteto e está mais adequado ao trabalho de pesquisa na área;
- ii. Ideal para estudo de alternativas do projeto de arquitetura especialmente nas fases iniciais, se o utilizar com o 3DSOLAR.

4. RELUX

a. Pontos positivos:

- i. Interface de interação perfeita em relação ao fluxo de trabalho. É intuitiva, o que facilita o aprendizado;
- ii. Disponível em língua portuguesa;
- iii. Modelador interno simples, porém, completo para elaborar a geometria. Utiliza objetos, criam-se paredes, janelas, lajes, claraboias, portas, mesas, cadeiras, luminárias, etc.;
- iv. Aborda a geometria e as propriedades óticas dos materiais atribuídos aos objetos, na mesma interface;
- v. Permite *output* com várias abordagens da iluminação natural e artificial, como avaliação numérica de ofuscamentos, eficiência energética anual, *falsecolor* e curvas isolinhas em todos os planos da geometria tridimensional, paredes, pisos e teto. Permite o corte longitudinal e transversal no plano de referência, exibindo o gráfico de iluminância e sua composição da contribuição direta e indireta;
- vi. Efetua a integração da iluminação artificial e natural, prevendo que horas do dia/mês se necessita acionar a luz elétrica. Isto é devido à entrada de valores de probabilidade de sol ao longo de cada mês, no local especificado;
- vii. Possibilita criar zonas de avaliação virtual em qualquer plano da geometria do modelo, além dos tradicionais planos de referência de trabalho;

- viii. Parâmetros óticos dos materiais consistentes, que simulam a aparência final do material;
- ix. Ajuste de câmara sintética, gráfica e numericamente, de forma simples e intuitiva;
- x. Permite a pré-visualização para ajustar a câmara sintética e os parâmetros iniciais, evitando esperar algum tempo até constatar que os parâmetros adotados não agradam;
- xi. Permite imprimir as saídas para impressora e PDF.

b. Limitações:

- i. Apesar da interface na língua portuguesa, os manuais, os arquivos de ajuda e os tutoriais são na língua inglesa;
- ii. Não possui banco de dados geográficos de outros continentes, exceto de alguns países da Europa, obrigando a entrada manual dos dados de latitude, longitude e hora GMT;
- iii. Não dispõe de possibilidade de customização para a execução de tarefas específicas, através de linguagem de programas de alto nível.

c. Dificuldades e erros:

- i. Embora a biblioteca de mobiliário seja completa e de boa qualidade, tem alguns problemas no acerto da posição e ponto de inserção dos objetos;
- ii. Existem poucas dificuldades de uso da interface, no entanto, o entendimento de como ajustar as saídas não é intuitivo, pois sempre se espera que o programa dê a saída da imagem diretamente no *frame-buffer*.

d. Aplicabilidade:

- i. A aplicabilidade no projeto de arquitetura é promissora, já que tem todas as condições e capacidade para apoiar as diversas fases do projeto;
- ii. Tem um grande número de possibilidades de análise qualitativa e quantitativa de comportamento da luz no espaço arquitetónico. Dispõe de saídas gráficas e numéricas para quase todos os parâmetros necessários para esta tarefa;
- iii. A sua interface é muito apropriada para os arquitetos.

No final da avaliação feita por Christakou (2004) a ferramenta LIGHTSCAPE totalizou 60 pontos, a DESKTOP RADIANCE 23 pontos, a RAYFRONT obteve 17 pontos e a RELUZ obteve 78 pontos. Concluiu que entre as ferramentas analisadas, a RELUX era a que mais se aproximava do trabalho do arquiteto e, o RAYFRONT e o DESKTOP

RADIANCE as que mais apresentam dificuldades para integrar-se ao processo de projeto arquitetônico. Mas é importante realçar que este estudo foi realizado no ano de 2004 e pode não corresponder com a atualidade, uma vez que os fabricantes podem ter aperfeiçoado suas ferramentas para melhor atender às expectativas e necessidades dos usuários.

4.2.2. Ferramentas de simulação testadas/analizadas

Ao escolher uma ferramenta de simulação de iluminação, é importante avaliar dentre as opções disponíveis, qual mais se adequa e mais atende as necessidades do que será proposto.

As opções consideradas para a condução do estudo proposto por este trabalho foram: DIALux Evo, RELUX e VELUX *Daylight Visualizer*. Estes permitem a realização de cálculos luminosos, auxiliam na análise espacial e podem fornecer imagens foto-realistas. No entanto, a terceira ferramenta mencionada destina-se apenas a análises de iluminação natural, enquanto as duas primeiras permitem análises de iluminação natural e artificial.

Os procedimentos para a análise da iluminação se iniciam com a modelação em 3D diretamente na ferramenta ou importando desenhos 2D de programas de desenho assistido por computador como o AutoCAD, sendo importante representar nos desenhos os elementos essenciais e as formas geométricas com o detalhe adequado à análise pretendida. O passo seguinte é fornecer as propriedades óticas dos materiais reais às formas criadas para as superfícies, ou para o mobiliário. As ferramentas citadas acima têm a capacidade de separar as formas criadas por camadas e atribuir as propriedades a cada uma, garantindo assim que nenhum material fica com propriedades por atribuir.

Algumas informações muito importantes que devem ser inseridas para a realização da simulação de iluminação são a localização geográfica, a orientação do edifício e o modelo de céu. As ferramentas possuem uma lista com várias possibilidades de localização, mas caso a que se pretende utilizar não se encontra disponível na lista, é possível a inserção manual das coordenadas da cidade a que se objetiva o estudo. Os modelos de céu disponíveis são conforme os modelos estabelecidos pela *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE): céu limpo, céu intermédio ou céu encoberto.

É necessária a definição de uma malha para o cálculo da distribuição da luz e a altura do plano de referência, entendida pela ferramenta como a altura da superfície de trabalho. Estas medidas devem ser as que melhor satisfazem aos objetivos pretendidos. É também primordial estabelecer uma data e hora e indicar se para o cálculo serão levados em conta a componente direta da luz ou a indireta, o sombreamento por elementos externos e as superfícies do exterior.

Em último lugar, para algumas ferramentas de simulação é necessário indicar e posicionar as câmaras a fim de se obter a vista do observador e, após a realização dos cálculos pela ferramenta, são fornecidos os resultados que podem ser por meio de exibição de relatórios numéricos que descrevem os níveis de iluminação do ambiente, através dos níveis de iluminância ou do Fator Luz-Dia, imagens estáticas ou animações.

Após a explicação de forma resumida sobre como funcionam as três ferramentas de simulação referidas neste tópico, de seguida serão apresentadas algumas características específicas de cada uma. Estas conclusões decorrem da utilização das ferramentas informáticas descritas, executada no âmbito deste trabalho.

VELUX *Daylight Visualizer*

Pontos positivos:

- Cálculos da iluminação para ambientes internos;
- Simulação da luz natural;
- Metodologia devidamente baseada em normas específicas para iluminação natural – CIE;
- *Download* e instalação gratuitos;
- Possibilidade de importação de objetos 2D e 3D;
- Possibilidade de modelar o edifício como um todo, independentemente da quantidade de pisos;
- Fornece resultados de imagens e animações com ótima qualidade.

Pontos negativos:

- Bibliotecas de mobiliário, objetos e materiais um tanto limitadas e gestão das propriedades um tanto limitada;
- Ferramenta liberada apenas para o sistema operacional *Windows*;
- Não permite a inserção de dispositivos de proteção solar dos vãos envidraçados, quer da biblioteca, quer por desenho manual;
- Está configurada para fornecer os resultados da simulação em níveis de iluminância e em valores de Fator Luz-Dia, porém, não se sabe por que razão a opção Fator Luz-Dia não se encontra disponível.

DIALux Evo

Pontos positivos:

- Cálculos da iluminação para ambientes internos, externos e os dois em simultâneo;
- Possibilidade de criar cenários de luz e simulação da luz natural;

- Metodologia devidamente baseada em normas específicas para iluminação natural e para iluminação artificial;
- Cálculo de eficiência energética e poupança de energia;
- Integração com BIM (*Building Information Modeling*);
- *Download* e instalação gratuitos;
- Possibilidade de importação de objetos 2D e 3D;
- Possibilidade de modelar o edifício como um todo, independentemente da quantidade de pisos;
- Bibliotecas (objetos, cores, texturas e luminárias) bem equipadas e possibilidade de gestão de bibliotecas
- Permite o desenho manual de dispositivos de proteção solar dos vãos envidraçados.

Pontos negativos:

- A realização da simulação da luz natural é condicionada à simulação da luz artificial;
- Ferramenta liberada apenas para o sistema operacional *Windows*;
- Resultados da simulação expressos apenas em níveis de iluminância. Não existe a opção de Fator Luz-Dia;
- As simulações se destinam apenas a edifícios comerciais e industriais, não havendo a opção para edifícios residenciais.

RELUX

Pontos positivos:

- Cálculos da iluminação para ambientes internos, externos, os dois em simultâneo e de estradas;
- Possibilidade de criar cenários de luz e simulação da luz natural;
- Metodologia devidamente baseada em normas específicas para iluminação natural e para iluminação artificial;
- Cálculo de eficiência energética e poupança de energia;
- Integração com BIM (*Building Information Modeling*);
- *Download* e instalação gratuitos;
- Possibilidade de importação de objetos 2D e 3D;
- Possibilidade de modelar o edifício como um todo, independentemente da quantidade de pisos;
- Bibliotecas (objetos, cores, texturas e luminárias) bem equipadas e possibilidade de gestão de bibliotecas.

Pontos negativos:

- Imagens foto-realistas com pouca qualidade;

- Ferramenta liberada apenas para o sistema operacional *Windows*;
- Resultados da simulação expressos apenas em níveis de iluminância. Não existe a opção de Fator Luz-Dia.

Após a reflexão sobre qual ferramenta escolher para a realização das simulações propostas neste trabalho, optou-se pela ferramenta **RELUX**. Quando comparada às outras ferramentas esta demonstrou ser uma melhor opção, pois, a *DIALux* não possibilita a realização de simulações a edifícios de habitação e o *VELUX Daylight Visualizer* aparentou ser menos completa.

4.3. Conclusões sobre metodologias para avaliação da qualidade da iluminação

Conforme exposto ao longo deste capítulo, existem variados sistemas e metodologias que possibilitam a avaliação da qualidade da iluminação natural para qualquer tipologia de edifício, todas com o objetivo comum de otimizar o comportamento energético das edificações, prejudicando o mínimo possível o meio ambiente. Relativamente aos critérios de desempenho térmico apenas o sistema de avaliação LEED dispunha destes, nomeadamente o valor máximo para o coeficiente de transmissão térmica e fator de ganhos solares consoante a zona climática. Estes valores, juntamente com os estabelecidos pelas legislações ao longo do capítulo 3, serão tidos em consideração na fase de cálculo e análise do caso de estudo.

No que diz respeito aos requisitos de iluminação natural, foram apresentados três sistemas de avaliação de sustentabilidade e estes definem diretrizes que asseguram a qualidade da iluminação natural através de três métodos: das iluminâncias, do fator de luz do dia ou ainda da qualidade da vista exterior. Para a realização do estudo proposto por este trabalho será utilizada como referência os valores apresentados no sistema BREEAM, e as razões que levaram a esta decisão foram:

1. Por se tratar do único sistema que disponibiliza os dois métodos de avaliação tidos como os mais relevantes (iluminâncias e fator de luz do dia). Isto possibilitará uma maior liberdade na forma de apresentação dos resultados finais deste estudo. Mas torna-se importante salientar que os critérios de qualidade da vista exterior não serão ignorados.
2. O valor mínimo para a iluminância no interior das unidades habitacionais preconizado pelo LEED, que representa a pior situação possível, é inferior ao do BREEAM, então opta-se pelo sistema que estabelece um valor mínimo maior, a fim de se obter resultados mais satisfatórios. No entanto, o modo de realização das medições e dos cálculos será efetuado de acordo com o proposto pelo LEED, já que dos três sistemas de avaliação, este é o único que explica como deve ser realizada a análise (tamanho da malha, melhor horário e época do ano).

Em relação ao SBTool, os valores só se aplicam a unidades residenciais localizadas no rés-do-chão. Assim, numa situação em que o caso de estudo não se encontre nesta condição, os requisitos impostos por este sistema não terão utilidade. Todavia, como se pretende observar quais seriam as diferenças de comportamento da iluminação natural face a algumas alterações nas configurações da unidade habitacional e dos vãos envidraçados, como por exemplo a alteração da cota de nível da unidade habitacional, estes requisitos poderão vir a ser de grande adequação.

E, por fim, a ferramenta de simulação de iluminação natural utilizada para o efeito deste trabalho será a RELUX, cuja aplicação será feita no caso de estudo apresentado no capítulo a seguir.

5. Caso de estudo e metodologia aplicada

5.1. Apresentação do caso de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa diz respeito a uma unidade habitacional pertencente a um edifício residencial multifamiliar, localizado na cidade de Castelo Branco, mais especificamente na Rua Prof. Sebastião António Morão Correia (Figura 29), Urbanização da Quinta da Granja, com uma altitude de 375 metros acima do nível médio do mar.

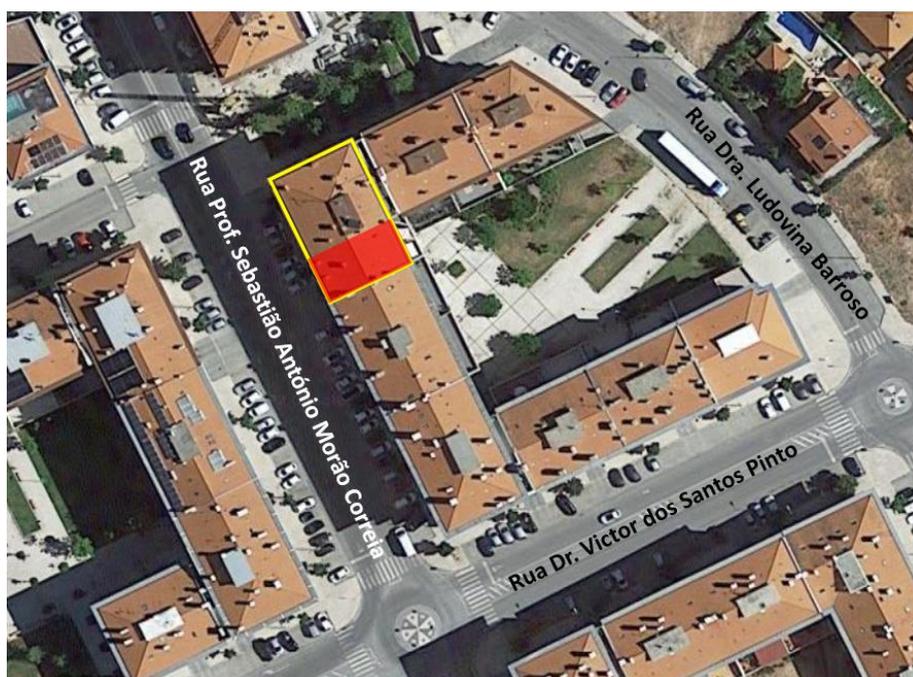


Figura 29 - Imagem satélite da localização do edifício (Google Maps, 2022 (adaptado))

Está situada numa zona intermédia entre a zona industrial e o centro da cidade. No seu entorno desenvolvem-se atividades de fins residenciais, comerciais e de serviço, educacionais e recreativos.

O edifício possui duas fachadas voltadas para o exterior, uma completamente partilhada com o edifício vizinho e outra parcialmente compartilhada, sendo que a fachada frontal/principal está orientada a Oeste. O edifício possui um total de 8 pisos, dos quais 6 se encontram acima do solo, destinados à habitação, e 2 pisos abaixo do solo com o uso garagem. A edificação dispõe de 3 unidades habitacionais por andar (Figura 31) e a fração em estudo situa-se no segundo andar (Figura 30).

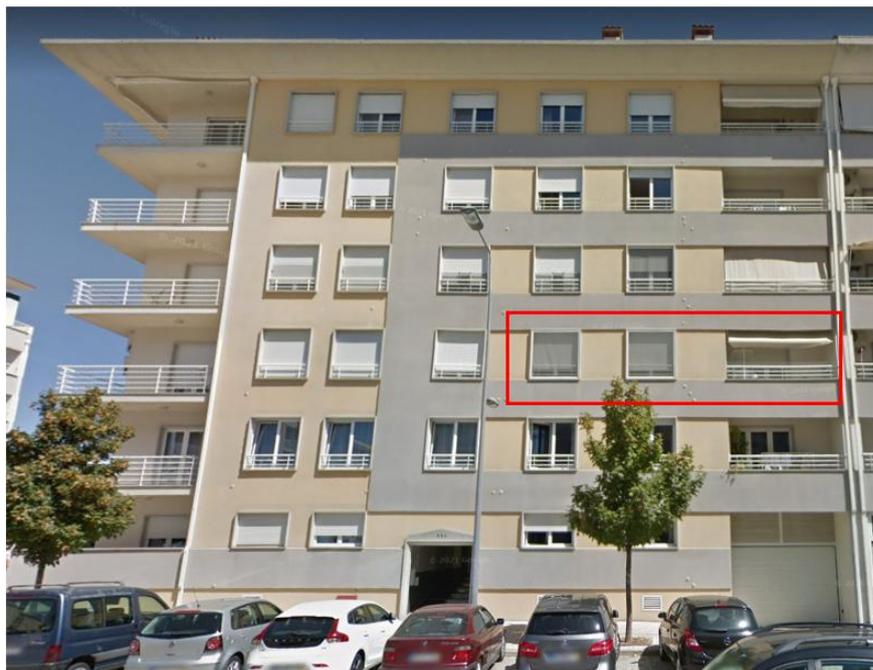


Figura 30 - Fachada frontal do edifício e identificação da unidade habitacional em estudo (a vermelho) (Google Street View, 2022 (adaptado))

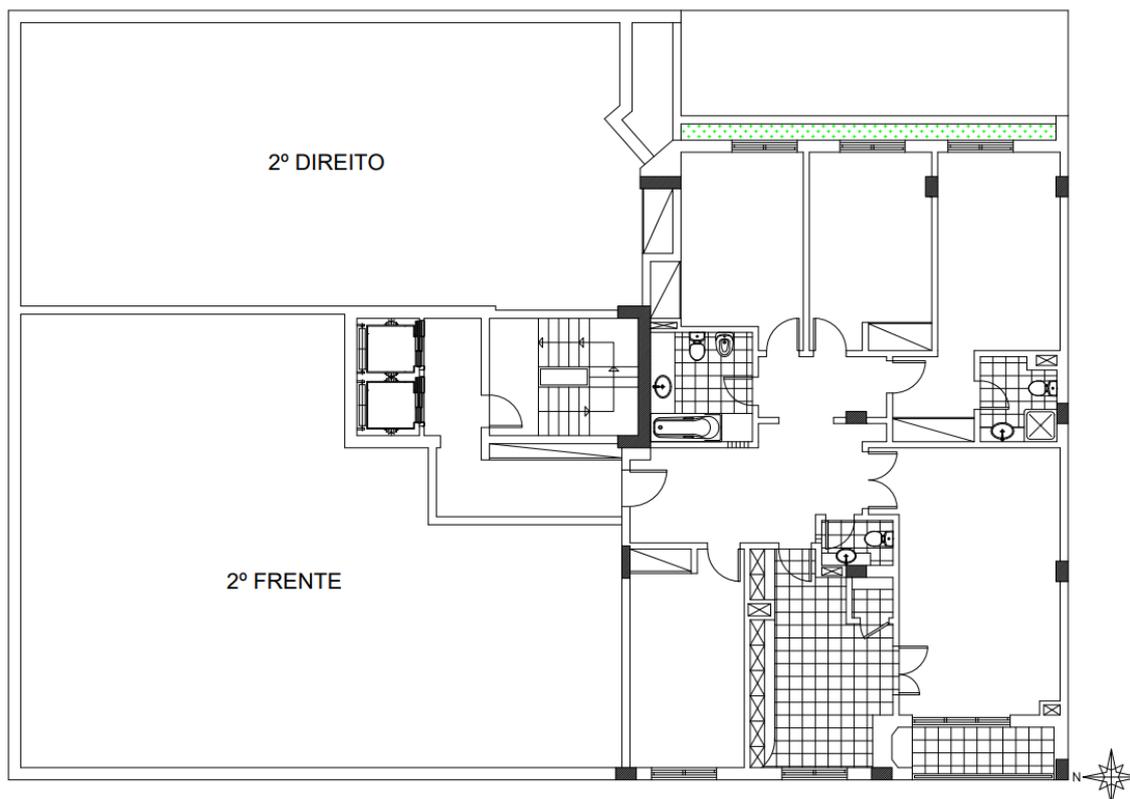


Figura 31 - Planta da unidade habitacional (2ºesquerdo) e disposição da mesma no andar

Descrição geral da habitação:

- A habitação é da tipologia T4, desenvolve-se num único piso, situado no 2º andar, com uma fachada orientada a Este e outra a Oeste;
- Possui uma área bruta de 170,05 m² e área útil de 141,45 m² e encontra-se dividido nos seguintes compartimentos:
 - 2 corredores (área útil total de 18,35 m²);
 - 1 cozinha (área útil de 15,25 m²);
 - 1 sala (área útil de 27 m²);
 - 4 quartos (área útil total de 63,65 m²);
 - 3 instalações sanitárias (área útil total de 11,70 m²);
 - 1 despensa (área útil de 1 m²);
 - 1 varanda (área útil de 4,50 m²);
 - 1 arrecadação (sótão).
- As paredes:
 - Paredes interiores de compartimentação – pano simples de alvenaria (tijolo 11) revestido em ambas as faces de estuque projetado ou em que uma das faces é revestida com azulejo (wc ou cozinha) (espessura total de 15 cm);
 - Paredes confinantes com outros fogos – pano duplo de alvenaria com isolamento, revestida em ambas as faces com estuque (espessura total de 25 cm);
 - Paredes entre o fogo e os espaços comuns do edifício – pano duplo de alvenaria revestido em ambas as faces com isolamento, tijolo e estuque projetado (espessura total de 25 cm);
 - Paredes entre o fogo e a(s) caixa(s) do(s) elevador(es) (espessura total de 25 cm).
- As lajes são em betão armado, revestido inferiormente com estuque projetado e superiormente com camada de enchimento acústico, betonilha e pavimento flutuante ou mosaico cerâmico;
- Os revestimentos:
 - Quartos:
 - Piso – pavimento flutuante
 - Paredes – tijolo rebocado e pintado
 - Teto – laje rebocada e pintada
 - Sala, despensa, *hall* e corredor:
 - Piso – mosaico cerâmico
 - Paredes – tijolo rebocado e pintado
 - Teto – laje rebocada e pintada
 - Cozinha e instalações sanitárias:
 - Piso – mosaico cerâmico
 - Paredes – tijolo rebocado e aplicação de azulejo
 - Teto – laje rebocada e pintada

- As portas:
 - Porta principal de acesso ao fogo – formada por uma dupla lâmina de aço, com reforços verticais de aço entre dois painéis. Revestida em ambos os lados com madeira de carvalho (largura livre de 90 cm);
 - Portas interiores:
 - WC – estrutura de lamelado de madeira, revestida por placa de fibra de madeira (largura livre de 65 cm);
 - Sala – estrutura de lamelado de madeira, revestida por placa de fibra de madeira (largura livre de 140 cm – duas folhas);
 - Cozinha e quartos – estrutura de lamelado de madeira, revestida por placa de fibra de madeira (largura livre de 75 cm);
- As janelas:
 - 1 porta da varanda com dimensões 2,40x2,00 cm (lxh) situada na sala;
 - 5 janelas com dimensões 1,60x1,60 cm (lxh) na cozinha e nos quartos;
 - Tipologia simples;
 - Modo de abertura de correr;
 - Material da caixilharia em alumínio lacado;
 - Envidraçado com vidro duplo incolor;
 - Sistema de proteção em persianas exteriores.

A unidade habitacional possui um total de 6 vãos envidraçados, em que 3 se encontram orientados a Este e 3 a Oeste e estes podem ser visualizados na Figura 32. As suas características geométricas e composição apresentadas nas Tabelas 42 e 43.

Tabela 42 - Tipologia e dimensões dos vãos envidraçados

Vão Envidraçado	Tipologia	Abertura	Número de folhas	Dimensões		
				Largura (m)	Altura (m)	Peitoril (m)
Sala	Janela Simples	Correr	3	2,40	2,10	0,00
Cozinha			2	1,60	1,60	0,50
Quarto 1						
Quarto 2						
Quarto 3						
Escritório						

Tabela 43 - Composição dos vãos envidraçados

Caixilharia	Classe de permeabilidade ao ar
Caixilharia de alumínio com corte térmico	4
Vidro	Composição
Vidro duplo	6mm inc. + Cx. ar 16mm + 5mm inc.
Tipo de proteção	Dispositivo
Exterior	Persianas de réguas plásticas (cor branco)

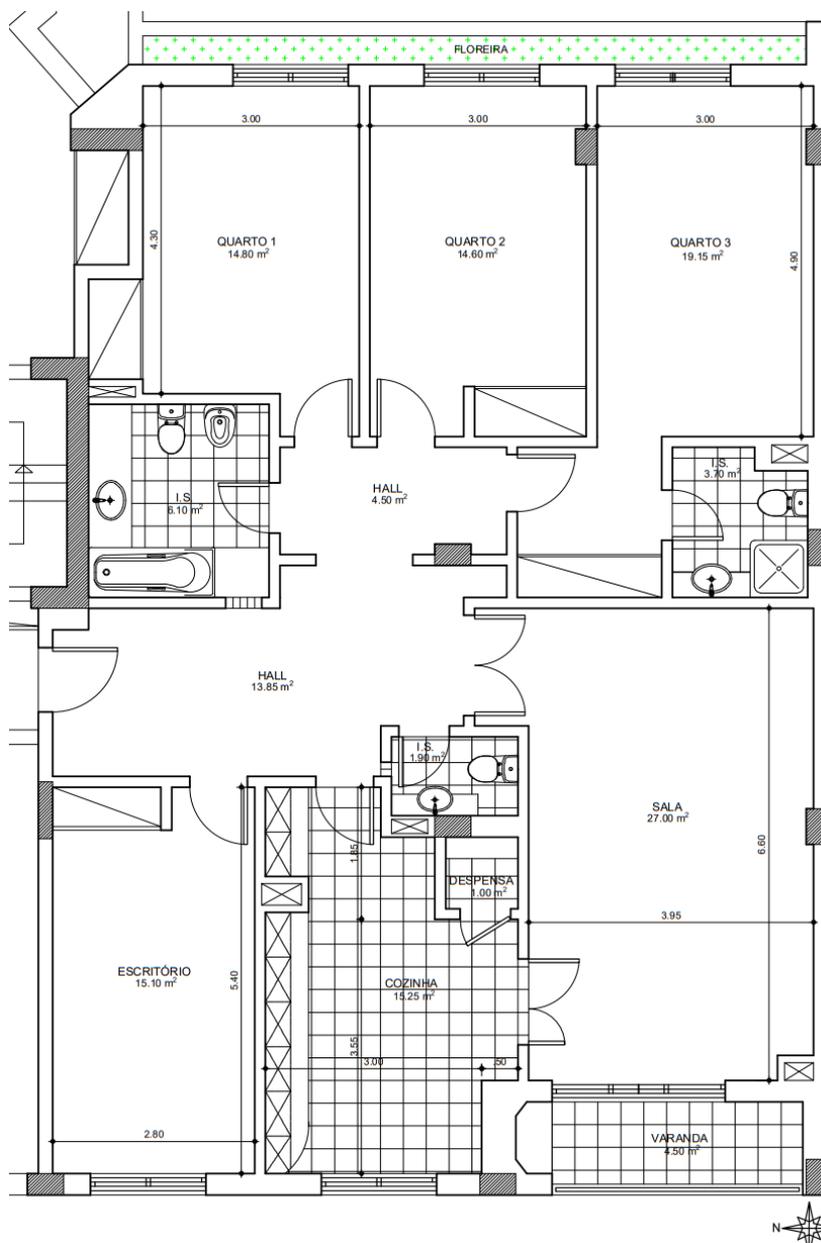


Figura 32 - Planta da unidade habitacional com identificação das janelas e principais dimensões dos compartimentos

5.2. Salubridade e disposições interiores

A conceção do edifício foi feita de modo que atendesse aos requisitos de salubridade e de disposições interiores impostas pelo RGEU, especificamente:

- A altura mínima do pé direito para esta tipologia de edifícios é de 2,80 m e o valor atribuído às frações habitacionais da edificação em estudo foi de 3 m, estando acima do mínimo exigido;
- De acordo com o que o regulamento considera com compartimento (excluindo os vestíbulos, casas de banho, despensas e outras divisões de função similar à de qualquer destes), o caso de estudo dispõe de 6 e todos possuem área superior a 9 m², assim como a cozinha, que deve ter área igual ou superior a 6 m², tem 15,25m² de área;
- Os compartimentos foram concebidos de modo que o comprimento não ultrapassasse o dobro da largura e na planta de todos estes é possível se inscrever, entre paredes, um círculo de diâmetro de pelo menos 2 m (Figura 32);
- Todos os compartimentos (com exceção de corredores e pequenos compartimentos destinados a despensas, vestiários e arrecadação) se encontram iluminados e ventilados por um vão em contato direto com o exterior, e cuja área deverá ser pelo menos um décimo da área do compartimento (Tabela 44);
- Os corredores se encontram confinados e não possuem uma solução que permita a penetração da luz natural direta, porém recebem luz indireta através de vãos envidraçados situados nas paredes de compartimentos confinantes;
- Nesta habitação, as janelas estão posicionadas em duas fachadas opostas (Este e Oeste), de modo que seja possível a ventilação cruzada. No entanto, isto só ocorrerá se as portas dos compartimentos estiverem abertas, visto que há apenas um vão envidraçado por compartimento;
- As janelas a Oeste se encontram a uma distância de aproximadamente 25 m do edifício situado à frente. No entanto, há um edifício que se encontra posicionado perpendicularmente à fachada Este e este pode simbolizar um obstáculo para a janela do Quarto 1, assim como o recuo que a Sala apresenta do alinhamento principal da fachada Oeste por conta da varanda.

Tabela 44 - Área dos envidraçados em relação à área do compartimento em que está inserido

Compartimento	Área do compartimento (m ²)	Área mínima do vão envidraçado (1/10 da área do compartimento) (m ²)	Área total do vão envidraçado (m ²)
Sala	27,00	2,7	5,04
Cozinha	15,25	1,53	2,56
Quarto 1	14,80	1,48	2,56
Quarto 2	14,60	1,46	2,56
Quarto 3	19,15	1,92	2,56
Escritório	15,10	1,51	2,56

5.3. Definição das zonas climáticas de acordo com o REH

Uma das variáveis do estudo do desempenho energético do edifício é a localização. É na Nomenclatura das Unidades Territoriais (NUTS) para fins estatísticos de nível III, que se baseia o zonamento climático do País, composto pelos municípios nacionais.

A definição das zonas climáticas de inverno e verão é feita de acordo com o Despacho 15793-F/2013 do Decreto-Lei n.º118/2013, de 20 de agosto, através das tabelas 01 a 05 do despacho.

Os parâmetros climáticos relativos à estação de aquecimento (inverno) são:

GD – Números de graus-dias, na base de 18 °C [°C.dia];

M – Duração da estação de aquecimento [meses];

$\theta_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];

$GSul$ – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul [kWh/m².mês].

Os parâmetros climáticos relativos à estação de arrefecimento (verão) são:

L_v – Duração da estação = 4 meses, ou seja, 2928 horas;

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média [°C];

$ISol$ – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais [kWh/m²].

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a uma determinada localização, são determinados a partir de valores de referência X_{REF} , que é corrigido através das correlações lineares de altitude de declive “ a ”, proporcionais à diferença

de altitude do local “z” e a altitude de referência X_{REF} para a NUTS III, segundo a Equa o 27:

$$X = X_{REF} + a (z - z_{REF}) \text{ [meses ou } ^\circ\text{C]} \quad \text{[Equa o 27]}$$

São definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três de verão (V1, V2 e V3) para aplica o de requisitos de qualidade térmica da envolvente. As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18  C, correspondente   esta o de aquecimento, conforme a Tabela 45 e as zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente   esta o convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), de acordo com a Tabela 46.

Tabela 45 - Critérios para a determina o da zona climática de inverno (Despacho 15793-F/2013)

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

Tabela 46 - Critérios para a determina o da zona climática de verão (Despacho 15793-F/2013)

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^\circ\text{C}$	$20^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^\circ\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^\circ\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Estando o edifício localizado na cidade de Castelo Branco, pertencente ao NUTS III da Beira Interior Sul, a uma altitude de 375 metros, tem-se como parâmetros climáticos para a esta o de aquecimento (inverno) os valores que se encontram na Tabela 47 e como parâmetros climáticos para a esta o de arrefecimento (verão) os da Tabela 48.

Tabela 47 - Parâmetros climáticos para a esta o de aquecimento (adaptado do Despacho 15793-F/2013)

NUTS III	Município	Z [m]	Z_{REF} [m]	GD [�C.dia]	a [�C/km]
Beira Interior Sul	Castelo Branco	375	328	1274	1800

Tabela 48 - Parâmetros climáticos para a esta o de arrefecimento (adaptado do Despacho 15793-F/2013)

NUTS III	Município	Z [m]	Z_{REF} [m]	$\theta_{ext,v}$ [�C]	a [�C/km]
Beira Interior Sul	Castelo Branco	375	328	25,3	-7

Sendo assim, após se determinar o número de graus-dias (GD), correspondente à estação de aquecimento e a temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$) na qual o objeto de estudo se enquadra e da realização dos cálculos mediante a Equação 27, é possível definir as zonas climáticas a que este pertence, demonstrado na Tabela 49.

Tabela 49 - Zonas climáticas de Inverno e de Verão do caso de estudo

NUTS III	Município	Zona climática	
		Inverno	Verão
		GD [°C.dia]	$\theta_{ext,v}$ [°C]
Beira Interior Sul	Castelo Branco	1358,6	24,97
		I2	V3

5.4. Qualidade térmica dos vãos envidraçados com base no REH

Para que seja possível perceber até que ponto a composição do conjunto vão envidraçado + elemento de proteção e seus parâmetros térmicos são capazes de interferir no desempenho da iluminação natural, primeiro é necessário determinar estes parâmetros térmicos, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica, o fator solar e o fator de obstrução/sombreamento, dos vãos existentes na fração habitacional em estudo.

5.4.1. Coeficiente de transmissão térmica

De acordo com a Tabela 5 deste trabalho, tem-se que para uma zona climática de inverno I2, o coeficiente de transmissão térmica de referência do vão envidraçado (U_{ref}) é 2,40 W/m². °C (Portaria n.º 349-B/2013). Já consoante a Tabela 8, o valor do coeficiente de transmissão térmica (U_w – aplicável a lugares sem ocupação noturna) e do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite (U_{wdn} – aplicável a lugares com ocupação noturna) para a tipologia do vão envidraçado empregues neste estudo de caso são, respetivamente, 3,30 W/m². °C e 2,80 W/m². °C (LNEC, 2006).

Como se trata de uma tipologia de edificação com ocupação noturna, é necessário determinar o valor de U_{wdn} e, para tal, deve-se calcular previamente os valores de U_w e U_{ws} , através das fórmulas de cálculo apresentadas nos capítulos 2 e 3, no qual se obtiveram os resultados expressos nas Tabelas 50 a 52.

Tabela 50 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado sem dispositivo de oclusão noturna U_w

Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado sem dispositivo de oclusão noturna (U_w)				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m·°C)]	R [(m²·°C)/W]	Ref.
Rsi	-	-	0,13	ITE 50
Vidro 1	0,006	1,1	0,0055	Santos <i>et al</i> , 2000
Espaço de ar não-ventilado	0,016	-	0,18	ITE 50
Vidro 2	0,005	1,1	0,0045	Santos <i>et al</i> , 2000
Rse	-	-	0,04	ITE 50
			R_{total} [(m²·°C)/W]	0,36
			U_w [W/(m²·°C)]	2,78

Tabela 51 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com dispositivo de oclusão noturna U_{ws}

Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com dispositivo de oclusão noturna (U_{ws})				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m·°C)]	ΔR [(m²·°C)/W]	Ref.
Camada de ar entre o dispositivo de oclusão e a janela	0,015	0,025	0,60	ITE 50
			U_w [W/(m²·°C)]	2,78
			U_{ws} [W/(m²·°C)]	1,04

Tabela 52 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica média dia-noite do vão envidraçado U_{wdn}

Coeficiente de transmissão térmica média dia-noite do vão envidraçado (U_{wdn})	
U_w [W/(m²·°C)]	2,78
U_{ws} [W/(m²·°C)]	1,04
U_{wdn} [W/(m²·°C)]	1,91

Após o cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados pertencentes à fração autónoma, é indispensável averiguar se se encontram em conformidade com os valores estabelecidos pelos regulamentos e outros documentos apresentados nos capítulos 2 e 3 considerados de maior interesse para o trabalho.

Com base na Tabela 53, é possível concluir que o valor de U_w obtido nos vãos envidraçados da unidade habitacional não se encontra em conformidade com o valor que é estabelecido pela Portaria nº 349B/2013. No entanto, este se trata apenas de um valor de referência e não de um máximo admissível. Contudo que esteja próximo do valor de referência pode ser considerado admissível.

Já em relação aos requisitos do LNEC, os valores de U_w e U_{wdn} se encontram em concordância com o limite máximo admissível. Relativamente à metodologia LEED, o valor de U_w obtido é 9 vezes superior ao valor que por eles é preconizado. Embora, seja $0,30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ o valor máximo para a cidade de Castelo Branco (ASHRAE 90.1-2016; BREEAM, 2016), não se sabe se a metodologia utilizada para o cálculo do U segue a mesma utilizada pelo REH.

Tabela 53 - Verificação dos valores máximos e de referência do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados e do coeficiente de transmissão térmica media dia-noite dos vãos envidraçados

	Requisitos de U						
	Resultados obtidos	Portaria n.º 349-B/2013		LNEC, 2006		LEED	
U_w [W/(m ² ·°C)]	2,78	2,40	Não verifica	3,30	Verifica	0,30	Não verifica
U_{wdn} [W/(m ² ·°C)]	1,91	-	-	2,80	Verifica	-	-

5.4.2. Fator de obstrução da radiação solar

O fator de obstrução da radiação solar deve ser determinado para todas as janelas e, cada uma delas deve ser analisada separadamente. Para tal objetivo, é necessário estabelecer se existem elementos que possam fazer sombreamento nos vãos envidraçados, entre os quais elementos verticais, horizontais ou no horizonte.

Com exceção do vão envidraçado do Quarto 3 que apresenta sombreamento por meio de um elemento vertical mais saliente localizado no lado direito (Figura 34) e do vão envidraçado da Sala que possui sombreamento tanto por elementos verticais quanto por horizontais (Figura 36 e 37) derivados da varanda.

Os restantes dos vãos envidraçados não apresentam elementos de sombreamento verticais e horizontais além de alguns centímetros em que estes vãos se encontram afastados da face exterior das paredes e das ombreiras (Figuras 33 e 35). Não havendo quaisquer outros elementos mais salientes nas janelas do Quarto 1, Quarto 2, Escritório e Cozinha foram considerados como elementos de sombreamento

vertical a face exterior das paredes que circundam as janelas (Figura 33 e 34 – lado esquerdo) e como elementos de sombreamento horizontal as ombreiras (Figura 35).

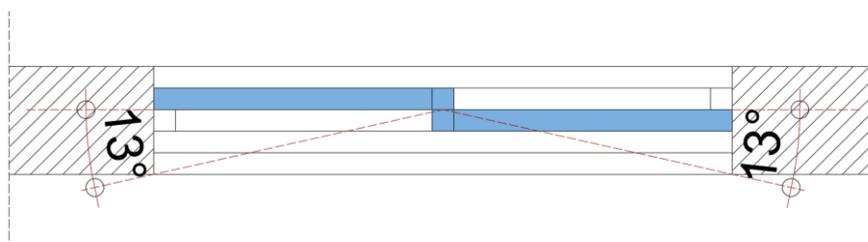


Figura 33 - Ângulo de sombreamento por elementos verticais (direito e esquerdo) nas janelas do Quarto 1, Quarto 2, Escritório e Cozinha

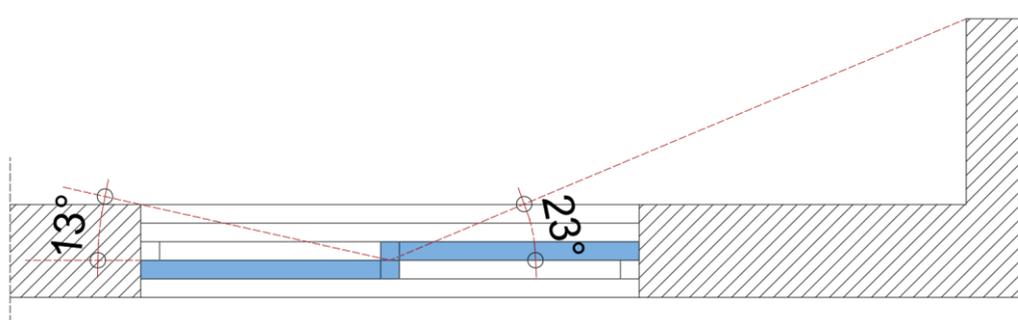


Figura 34 - Ângulo de sombreamento por elementos verticais (direito - 23° e esquerdo - 13°) na janela do Quarto 3

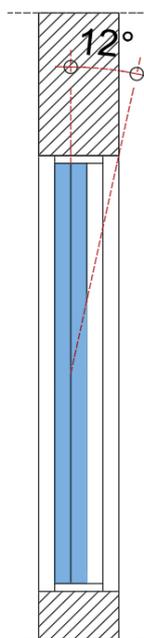


Figura 35 - Ângulo de sombreamento por elementos horizontais nas janelas do Quarto 1, Quarto 2, Quarto 3, Escritório e Cozinha

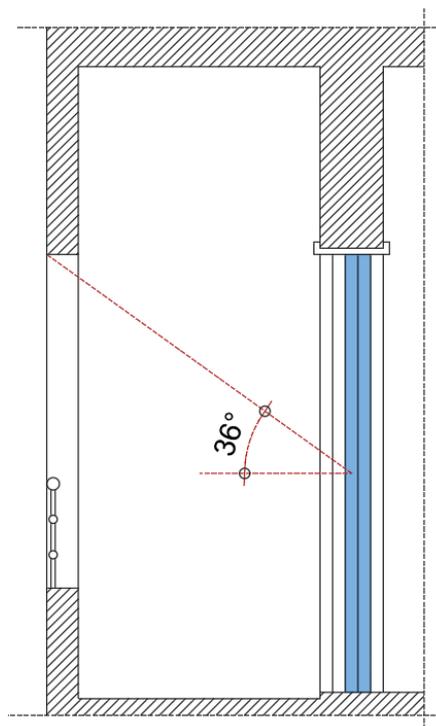


Figura 36 - Ângulo de sombreamento por elementos horizontais na janela da Sala

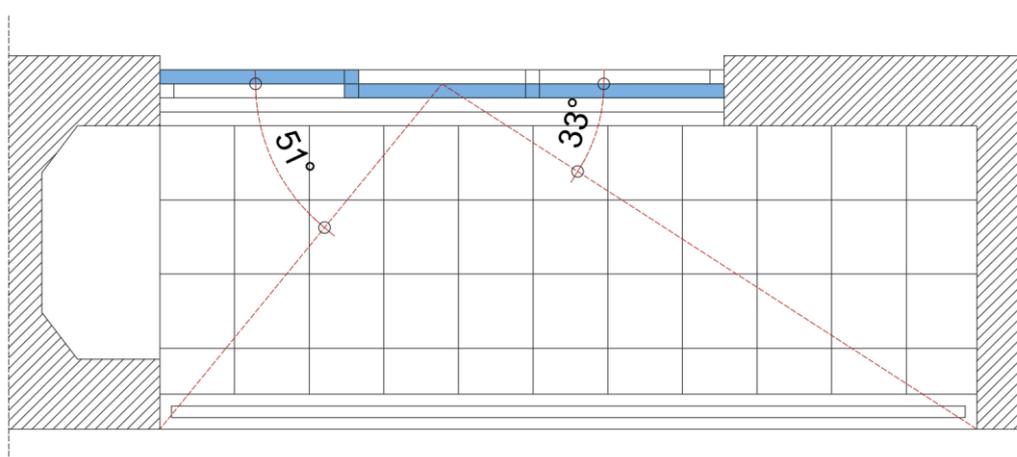


Figura 37 - Ângulo de sombreamento por elementos verticais (direito - 51° e esquerdo - 33°) na janela da Sala

É importante realçar que os ângulos de sombreamento demonstrados nas Figuras acima são obtidos realizando a medição a partir do centro do vão envidraçado até a extremidade dos elementos de sombreamento.

Já em relação ao sombreamento do horizonte, por uma questão de simplificação, considerou-se que o edifício se situava no contexto urbano, sendo assim o ângulo de horizonte por defeito de 45° para a estação de aquecimento e desprezado o efeito do sombreamento do horizonte na estação de arrefecimento.

Posto isto, após a obtenção dos ângulos de sombreamento a que se fazem necessários e o estabelecimento da orientação dos vãos envidraçados, tornou-se

possível, por intermédio das Tabelas 17 a 21 expostas no corrente trabalho, determinar o valor do fator de obstrução, F_s , para cada janela individualmente.

A Tabela 54 apresenta os valores do fator de sombreamento do horizonte, do fator de sombreamento por elementos horizontais e por elementos verticais de cada um dos vãos envidraçados em estudo para a estação de aquecimento.

Tabela 54 - Fatores de sombreamento horizontais, verticais e do horizonte na estação de aquecimento

Estação de aquecimento										
Vão Envidraçado	Orientação	Fator de sombreamento do horizonte F_h		Fator de sombreamento por elementos horizontais F_o		Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado F_f				
		Ângulo	Valor	Ângulo	Valor	Esquerda		Direita		Esq x Dta
Sala	Oeste	45°	0,58	36°	0,80	33°	1	51°	1	1
Cozinha		45°	0,58	12°	0,94	13°	0,94	13°	1	0,94
Escritório		45°	0,58	12°	0,94	13°	0,94	13°	1	0,94
Quarto 1	Este	45°	0,58	12°	0,94	13°	1	13°	0,94	0,94
Quarto 2		45°	0,58	12°	0,94	13°	1	13°	0,94	0,94
Quarto 3		45°	0,58	12°	0,94	13°	1	23°	0,90	0,90

Com a obtenção de cada um dos respetivos fatores de sombreamento, realiza-se o produto entre os mesmos, o qual possibilita alcançar o valor do fator de obstrução. A Tabela 55 manifesta o resultado do fator de obstrução para cada vão envidraçado na estação de aquecimento.

Tabela 55 - Fator de obstrução na estação de aquecimento

Estação de aquecimento				
Vão Envidraçado	F_h	F_o	F_f	$F_s = [F_h \times F_o \times F_f]$
Sala	0,58	0,80	1	0,46
Cozinha	0,58	0,94	0,94	0,51
Escritório	0,58	0,94	0,94	0,51
Quarto 1	0,58	0,94	0,94	0,51
Quarto 2	0,58	0,94	0,94	0,51
Quarto 3	0,58	0,94	0,90	0,49

Da mesma forma, a Tabela 56 representa os valores do fator de sombreamento do horizonte, do fator de sombreamento por elementos horizontais e por elementos verticais de cada um dos vãos envidraçados e a Tabela 57 o resultado do fator de obstrução para cada vão envidraçado, ambas para a estação de arrefecimento.

Tabela 56 - Fatores de sombreamento horizontais, verticais e do horizonte na estação de arrefecimento

Estação de arrefecimento										
Vão Envidraçado	Orientação	Fator de sombreamento do horizonte F_h		Fator de sombreamento por elementos horizontais F_o		Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado F_f				
						Esquerda		Direita		Esq x Dta
Sala	Oeste	0°	1	36°	0,71	33°	0,95	51°	0,96	0,91
Cozinha		0°	1	12°	0,90	13°	0,98	13°	0,98	0,96
Escritório		0°	1	12°	0,90	13°	0,98	13°	0,98	0,96
Quarto 1	Este	0°	1	12°	0,90	13°	0,98	13°	0,98	0,96
Quarto 2		0°	1	12°	0,90	13°	0,98	13°	0,98	0,96
Quarto 3		0°	1	12°	0,90	13°	0,98	23°	0,96	0,94

Tabela 57 - Fator de obstrução na estação de arrefecimento

Estação de arrefecimento				
Vão Envidraçado	F_h	F_o	F_f	$F_s = [F_h \times F_o \times F_f]$
Sala	1	0,71	0,91	0,64
Cozinha	1	0,90	0,96	0,86
Escritório	1	0,90	0,96	0,86
Quarto 1	1	0,90	0,96	0,86
Quarto 2	1	0,90	0,96	0,86
Quarto 3	1	0,90	0,94	0,85

Todavia, não basta apenas fazer os cálculos e apresentar os resultados obtidos. Há que verificar se estes fazem sentido e se estão de acordo com as exigências impostas pelo REH. A fim de contabilizar o efeito do sombreamento provocado pelo contorno do próprio vão envidraçado o produto $F_o \cdot F_f$ não deve ser superior a 0,9 e, com se pode constatar através das Tabelas 58 e 59, esta condição é respeitada em todos os vãos.

Tabela 58 - Verificação do efeito de sombreamento provocado pelo contorno do vão para a estação de aquecimento

Estação de aquecimento				
Vão Envidraçado	F_o	F_f	$F_o \times F_f \leq 0,9$	
Sala	0,80	1	0,80	Verifica
Cozinha	0,94	0,94	0,88	Verifica
Escritório	0,94	0,94	0,88	Verifica
Quarto 1	0,94	0,94	0,88	Verifica
Quarto 2	0,94	0,94	0,88	Verifica
Quarto 3	0,94	0,90	0,84	Verifica

Tabela 59 - Verificação do efeito de sombreamento provocado pelo contorno do vão para a estação de arrefecimento

Estação de arrefecimento				
Vão Envidraçado	F _o	F _f	F _o x F _f ≤ 0,9	
Sala	0,71	0,91	0,64	Verifica
Cozinha	0,90	0,96	0,86	Verifica
Escritório	0,90	0,96	0,86	Verifica
Quarto 1	0,90	0,96	0,86	Verifica
Quarto 2	0,90	0,96	0,86	Verifica
Quarto 3	0,90	0,94	0,85	Verifica

Outra verificação necessária é que em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser inferior a 0,27. Por meio das Tabelas 60 e 61 pode-se concluir que a condição não se verifica apenas para o vão envidraçado da sala na estação de aquecimento.

Tabela 60 - Verificação do produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ para a estação de aquecimento

Estação de aquecimento				
Vão Envidraçado	X _j E/W	F _h x F _o x F _f	X _j x F _h x F _o x F _f ≥ 0,27	
Sala	0,56	0,46	0,26	Não verifica
Cozinha	0,56	0,51	0,29	Verifica
Escritório	0,56	0,51	0,29	Verifica
Quarto 1	0,56	0,51	0,29	Verifica
Quarto 2	0,56	0,51	0,29	Verifica
Quarto 3	0,56	0,49	0,27	Verifica

Tabela 61 - Verificação do produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ para a estação de arrefecimento

Estação de arrefecimento				
Vão Envidraçado	X _j E/W	F _h x F _o x F _f	X _j x F _h x F _o x F _f ≥ 0,27	
Sala	0,56	0,64	0,36	Verifica
Cozinha	0,56	0,86	0,48	Verifica
Escritório	0,56	0,86	0,48	Verifica
Quarto 1	0,56	0,86	0,48	Verifica
Quarto 2	0,56	0,86	0,48	Verifica
Quarto 3	0,56	0,85	0,47	Verifica

5.4.3. Fator solar

Se os vãos envidraçados forem da mesma tipologia e utilizarem todos os mesmos materiais e elementos, como é o caso da unidade habitacional em estudo, só é necessária a determinação do fator apenas uma vez e este valor é para todos os vãos.

Para a determinação do fator solar recorreu-se à Equação 19 e às Tabelas 10 e 11 deste trabalho, sendo que para a determinação do fator solar global dos vãos envidraçados com as proteções solares totalmente ativadas cujo valor se encontra na Tabela 62. O fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro ($g_{L,vi}$) foi excluído do cálculo pois quando os elementos de proteção solar, que no caso são as persianas de réguas plásticas, se encontram totalmente ativas não há passagem da radiação solar através do vidro. A radiação solar chega somente até à proteção.

Tabela 62 - Fator solar global dos vãos envidraçados com as proteções solares totalmente ativadas

Fator solar global do vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas			
Elementos	$g_{L,vi}$	g_{Tvc}	$gT = [g_{L,vi} \times (g_{Tvc}/0,75)]$
Vidro duplo incolor (6mm + 5mm) + Persianas de réguas plásticas (cor branco)	0,75	0,04	0,053

Seguidamente foi determinado o fator solar do vão envidraçado para o inverno e para o verão cujos valores são apresentados na Tabela 63 e 64, respetivamente.

Tabela 63 - Fator solar dos vãos envidraçados para a estação de aquecimento

Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento		
$F_{w,i}$	$g_{L,vi}$	$gi = [F_{w,i} \times g_{L,vi}]$
0,9	0,75	0,675

Tabela 64 - Fator solar dos vãos envidraçados para a estação de arrefecimento

Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento			
F_{mv} E/W	gT	g_{TP}	$gv = [F_{mv} \times gT + (1-F_{mv}) \times g_{TP}]$
0,6	0,053	0,6375	0,287

A Tabela 65 consiste numa tabela auxiliar no cálculo do fator solar dos vãos envidraçados para a estação de arrefecimento, apresentado na Tabela 64.

Tabela 65 - Fator solar global dos vãos envidraçados com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes

Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes		
$F_{w,v}$	$g_{L,vi}$	$g_{TP} = [F_{w,v} \times g_{L,vi}]$
E/W		
0,85	0,75	0,638

Como já mencionado anteriormente, a Portaria n.º 349-B/2013 estabelece que os envidraçados cujo somatório das suas áreas (A_{env}) seja superior a 5% da área de pavimento do compartimento (A_{pav}) por estes servido e desde que não orientados no quadrante Norte inclusive, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado (g_T) com os dispositivos de proteção 100% ativos, que obedecem às condições impostas nas Equações 22 e 23 deste trabalho.

Então, após determinar que em todos os compartimentos a relação A_{env}/A_{pav} é superior a 5%, verificou-se também se esta relação é superior ou inferior/igual a 15%, conforme especificada pela Portaria n.º 349-B/2013 (Tabela 66), pois dependendo desta relação sabe-se qual a equação utilizar para a obtenção dos fatores solares máximos admissíveis para cada compartimento (Equação 22 ou 23 deste trabalho).

Tabela 66 - Verificações das áreas dos envidraçados em relação às áreas dos pavimentos dos compartimentos

Compartimento	A_{env} [m²]	A_{pav} [m²]	A_{env}/A_{pav}	Observações
Sala	5,04	27,00	19%	> 15%
Cozinha	2,56	15,25	17%	> 15%
Quarto 1	2,56	14,80	17%	> 15%
Quarto 2	2,56	14,60	18%	> 15%
Quarto 3	2,56	19,15	13%	< 15%
Escritório	2,56	15,10	17%	> 15%

Dessa forma, foram realizados os cálculos para cada um dos compartimentos, em que o Quarto 3 se configurou como inferior a 15% e os restantes como superior a 15%. Em todos os casos o produto $g_T \cdot F_o \cdot F_f$ é inferior ao $g_{T_{máx}}$, fazendo com que todas as condições impostas sejam atendidas (Tabela 67).

Tabela 67 - Verificação dos fatores solares máximos admissíveis

Compartimento	$g_T \times F_o \times F_f$	$g_{T_{m\acute{a}x}}$	$g_{T_{m\acute{a}x}} \cdot [0,15/(A_{env}/A_{pav})]$	Observações
Sala	0,03	-	0,40	Verifica
Cozinha	0,05	-	0,45	Verifica
Quarto 1	0,05	-	0,43	Verifica
Quarto 2	0,05	-	0,43	Verifica
Quarto 3	0,05	0,50	-	Verifica
Escritório	0,04	-	0,44	Verifica

5.5. Iluminação Natural

5.5.1. Modelação da unidade habitacional

Com o propósito de avaliar a quantidade e a qualidade da iluminação natural na unidade habitacional em estudo, foram realizadas simulações computacionais fazendo uso da ferramenta RELUX.

Deste modo, os procedimentos da análise se iniciaram com a modelação em 2D através da ferramenta AutoCAD e, de seguida a exportação desta para a elaboração da modelação 3D no RELUX. Nesta etapa é importante representar as formas geométricas e os elementos (portas e janelas) com os detalhes necessários e adequados à análise desejada. Posteriormente, foram fornecidas as propriedades óticas dos materiais reais às formas criadas e inseridas a localização geográfica e a orientação do edifício em relação ao Norte. Os dados usados referem-se à cidade de Castelo Branco (os valores entre parênteses foram os introduzidos na ferramenta de análise, pois esta utiliza uma escala decimal):

- Latitude 39°49'N (39,8);
- Longitude 7°29'W (-7,5);
- Ângulo do Norte 270°.

Os cálculos foram realizados adotando um plano de referência com altura de 0,90m na cozinha (ao nível da bancada), 0,80m acima do piso dos restantes ambientes, com um afastamento de 0,50m das paredes e uma malha de cálculo quadrada com espaçamento de 0,50m.

Para o cálculo dos níveis de iluminação natural foram excluídos do modelo todo o mobiliário não fixo, permanecendo apenas as bancadas e armários da cozinha e, ainda foram excluídas todas as cortinas e as persianas (Figura 38). Por não haver nenhum elemento que permita a entrada de luz natural diretamente nos corredores e nas casas de banho. Estes ambientes também foram deixados de fora da avaliação, pois,

por questões óbvias, tratando-se de um estudo de iluminação natural, um ambiente sem janelas não haveria nenhuma leitura.

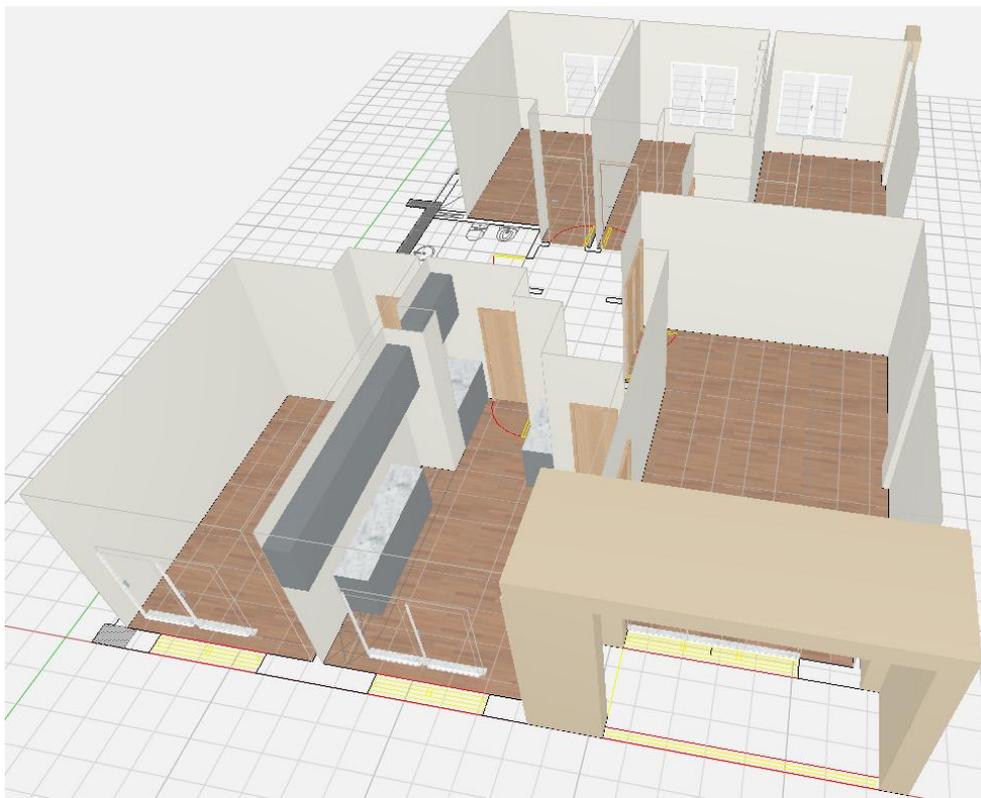


Figura 38 - Modelo da habitação elaborado para a simulação

Foi adotado um modelo de céu encoberto conforme CIE⁶ e foram realizadas simulações em dois horários distintos com o fim de perceber o desenvolvimento da luz no espaço ao longo do dia. Deste modo, uma foi realizada às 9h e outra às 15h, ambas no equinócio, neste caso Primavera, mais especificamente no dia 21 de março.

Com o propósito de obter resultados mais fidedignos e que se aproximem à realidade, foram inseridos alguns prédios (em formato de blocos) no entorno da habitação, nomeadamente um localizado à frente e outro na lateral traseira (Figura 39), pois estes são os que podem trazer mais interferência na quantidade e na qualidade de luz natural penetrante na unidade habitacional em estudo.

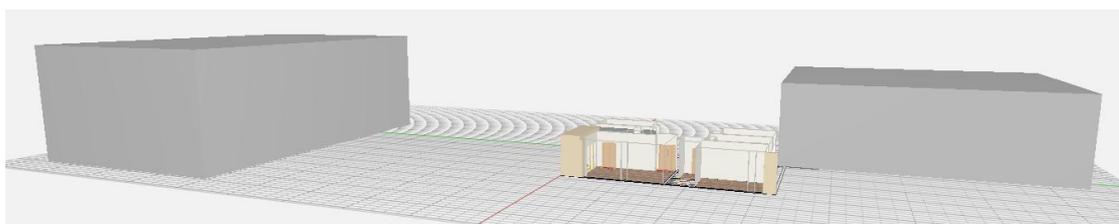


Figura 39 - Inserção de alguns prédios localizados no entorno da habitação em estudo

⁶ *Commission Internationale de L'éclairage* – Comissão Internacional de Iluminação.

Relativamente aos materiais de acabamento aplicados às superfícies da fração em estudo, estas se encontram listadas na Tabela 68. Estes foram escolhidos com base em materiais e cores que são comumente utilizados no mercado e na oferta disponível na biblioteca do programa RELUX. Das informações que constam na Tabela 68, a mais significativa para a realização das simulações no programa é a refletância dos materiais (expressa em percentagem). O aspeto e a cor destes referidos materiais podem ser visualizados na Figura 38.

Tabela 68 - Características físicas e valores de refletância dos materiais

Superfície	Material	Cor	Material designado
			Refletância (ρ)
Paredes exteriores do edifício	Reboco de argamassa com pintura	Amarelo	Light ivory paint (RAL 1015) 68%
Paredes interiores da sala e dos quartos	Reboco de argamassa com pintura	Branco	Pure white paint (RAL 9010) 85%
Paredes interiores da cozinha	Azulejo	Creme	Tile 06 85%
Tetos	Estuque de gesso com pintura	Branco	Pure white paint (RAL 9010) 85%
Pavimento da sala e quartos	Soalho flutuante	Mogno	Wood_Parquet 05 33%
Pavimento da cozinha	Mosaico	Branco	Tile 04 92%
Mobiliário da cozinha	Aglomerado de madeira lacado	Cinzentos	Gray 60%
Bancadas da cozinha	Mármore	Cinzentos	Marble 02 77%
Portas	Madeira	Mogno	Wood_Mahogany 54%
Elementos envidraçados	Caixilharia em Alumínio	Branco	Pure white paint (RAL 9010) 100%
	Soleira em Mármore	Cinzentos	Marble 02 77%
	Vidro	-	Clear glass 80%

5.5.2. Resultado das simulações da iluminação natural da unidade habitacional

Em todas as divisões analisadas foi feita a determinação dos níveis de iluminação natural através do cálculo das Iluminâncias e do Fator Luz-Dia, os quais serão apresentados e discutidos separadamente para cada divisão.

Por meio das figuras que serão apresentadas, é possível visualizar as divisões tridimensionalmente e em planta, na qual se encontrarão identificadas e enumeradas as paredes para melhor compreensão das tabelas elaboradas. Alguns ambientes poderão conter uma quantidade maior de paredes que poderão não constar nas tabelas. Isto deve-se ao facto do RELUX emitir os relatórios não contendo os resultados de todas as paredes. Estes relatórios se encontram disponíveis nos Anexos.

Logo, o foco da discussão e interpretação dos resultados indicará principalmente nos valores obtidos para o plano de referência. A metodologia escolhida, BREEAM, não estipula valores máximos de iluminância e FLD aceitáveis a fim de não comprometer o conforto visual dos usuários, assim como também não menciona se os valores mínimos estipulados de iluminância média e FLD dizem respeito ao plano de referência, às paredes, ao teto ou ao conjunto destes três. Então, para o seguimento deste trabalho, assume-se que se trata do plano de referência horizontal (que como mencionado no tópico anterior ficou estabelecido a 90 cm acima do piso na cozinha, que corresponde à altura da bancada, e a 80 cm acima do piso nos restantes ambientes), portanto, a análise dos níveis de iluminação das paredes e do teto só será feita quando necessária e indispensável à compreensão dos resultados do plano de referência.

Considera-se também importante salientar que a metodologia BREEAM dita valores mínimos de iluminância média e iluminância mínima no ponto mais crítico dos compartimentos para 3540 horas/ano ou mais. Contudo, a ferramenta RELUX, em seu relatório final disponibiliza sim as iluminâncias média, mínima e máxima, mas não é possível obter o número de horas/ano. A alternativa considerada pela autora deste trabalho como a que mais se aproxima do que é exigido pelo BREEAM é realizar as simulações ao longo do ano, a fim de averiguar se os valores mínimos estabelecidos são atendidos em todos os meses. Desta forma, ainda que o resultado das simulações que aqui serão discutidos não informem o número de horas/ano ao qual correspondem os valores das iluminâncias conforme dita o BREEAM, continuarão a ser utilizados os requisitos do BREEAM, porém, sem dar importância às horas.

Tendo em conta que o BREEAM estabelece na Tabela 37 deste trabalho, que a iluminância média deverá ser de pelo menos 100 lux e a iluminância mínima no ponto mais crítico de pelo menos 30 lux e ambos os critérios devem ser atendidos. Em relação ao requisito do Fator Luz-Dia médio a respeitar varia consoante a latitude em que se encontra o edifício habitacional. No contexto deste estudo, a latitude é inferior a 40°, logo, a cozinha deverá apresentar um FLD médio de 1,5% e os restantes ambientes de 1,2%. É importante realçar que a metodologia BREEAM não impõe obrigatoriedade de obedecer os dois requisitos Iluminância e Fator Luz-Dia, mas apenas um e este fica a critério do usuário.

E, finalmente, o BREEAM não impõe nenhuma exigência para o compartimento Quarto, tanto que este nem sequer consta nas tabelas dos requisitos de iluminação. Por consequência, para os ambientes Quartos serão adotados os mesmos valores de referência das salas e escritórios.

De seguida serão apresentados e discutidos os resultados de cada ambiente separadamente.

a) Sala

Trata-se de uma divisão com uma área útil de 27 m², uma abertura com 2,40m x 2,10m pelo que proporciona uma área envidraçada de 19% em relação à área útil do compartimento. A abertura se encontra orientada a Oeste e garante o acesso à varanda que proporciona um sombreamento ao envidraçado. A Figura 40 corresponde ao modelo tridimensional do compartimento em estudo e à representação em planta com a devida identificação das paredes para melhor percepção dos resultados.



Figura 40 - Modelo tridimensional da Sala e identificação das paredes em planta

▪ Níveis de iluminância

Os valores das iluminâncias obtidos das simulações estão dispostos nas tabelas abaixo, sendo que a Tabela 69 corresponde aos resultados para o horário das 9h e a Tabela 70 o das 15h.

Tabela 69 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Sala às 9h

		Iluminância (lux) - Hora 9h							
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 4	Parede 5	Parede 8	Parede 10	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	140 lux	69,4 lux	20,4 lux	254 lux	94 lux	193 lux	52,6 lux	153 lux
Iluminância mínima	Emin	26 lux	59 lux	16 lux	80 lux	66 lux	108 lux	38 lux	42 lux
Iluminância máxima	Emax	549 lux	75,6 lux	23 lux	651 lux	134 lux	243 lux	70 lux	341 lux

Tabela 70 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Sala às 15h

		Iluminância (lux) - Hora 15h							
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 4	Parede 5	Parede 8	Parede 10	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	194 lux	96 lux	28,3 lux	352 lux	130 lux	268 lux	73 lux	213 lux
Iluminância mínima	Emin	36 lux	82 lux	22 lux	110 lux	91 lux	150 lux	52,5 lux	58 lux
Iluminância máxima	Emax	760 lux	105 lux	31,7 lux	902 lux	186 lux	336 lux	97 lux	473 lux

Conforme se pode constatar as iluminâncias médias de ambos os horários estão em conformidade com o requisito de BREEAM, ou seja, a sala apresenta 146 lux e 194 lux, às 9h e às 15h respetivamente, encontrando-se os dois horários acima dos 100 lux prescritos como mínimo.

A iluminância mínima, por sua vez, encontra-se em cumprimento com o que é exigido apenas para a simulação das 15h. A iluminância média das 9h está abaixo dos 30 lux mínimos exigidos para o ponto mais crítico do compartimento. Como se pode constatar com o auxílio das tabelas. Assim, neste ambiente se considera este como ponto crítico, uma zona que se encontra adjacente à Parede 2. Através da Figura 70 pode-se compreender a razão pela qual a Parede 2 apresenta os piores níveis de iluminância tanto para as 9h, quanto para as 15h, uma vez que se trata da parede mais afastada do ponto de entrada de luz natural e encontra-se recuada em relação à Parede 4, fazendo assim da Parede 3 um obstáculo à penetração da luz.

Algumas paredes são de dimensões muito reduzidas e/ou a sua configuração face ao vão envidraçado faz com que a luz natural não chegue a ela de forma suficiente e, por isso, algumas paredes não possuem leituras, nomeadamente as Paredes 3, 6, 7 e 9.

De acordo com o que foi exposto no capítulo 4, a metodologia BREEAM deixa bem claro que os requisitos das iluminâncias média e mínima no ponto crítico devem ambos ser atendidos. Logo, a iluminação do horário das 9h não cumpre com as exigências e talvez será necessário considerar uma opção que permita cumprir com os requisitos. Contudo, não aparenta ser uma solução muito fácil, dado à presença dos elementos da varanda que configuram como elementos de sombreamento ao envidraçado.

▪ Fator Luz-Dia

Os resultados dos Fatores Luz-Dia médio, mínimo e máximo decorrentes da simulação para este compartimento localizam-se na Tabela 71. Vale relembrar que o Fator Luz-Dia se trata do quociente entre a iluminância interna e a iluminância externa, simultaneamente disponível no plano horizontal de um conjunto do céu desobstruído, expresso em percentagem (Figura 49).

Tabela 71- Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Sala

		Fator Luz-Dia (%)							
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 4	Parede 5	Parede 8	Parede 10	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	1,46	0,72	0,21	2,64	0,98	2,01	0,55	1,60
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	0,27	0,61	0,16	0,83	0,69	1,12	0,39	0,43
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	5,71	0,79	0,24	6,77	1,40	2,53	0,73	3,55
Iluminância do exterior 9h	Ea				9610 lux				
Iluminância do exterior 15h	Ea				13300 lux				

Os Fatores Luz-Dia médio, mínimo e máximo se mantêm sempre os mesmos, independente de ser às 9h ou às 15h e a única variável que alterna é a iluminância externa que aumenta às 15h, em função da radiação solar que, como bem se sabe, é sempre maior à tarde. Isto acontecerá também para os outros ambientes da unidade habitacional.

Posto isto, como mencionado anteriormente, devido à configuração espacial da sala há pontos no plano de referência que não recebem luz natural suficiente e, por isso não foi possível satisfazer o nível mínimo de iluminância mínima exigido. Já o Fator Luz-Dia médio cumpre com os requisitos, pois 1,46% está acima dos 1,2% exigidos pelo BREEAM.

b) Cozinha

É um ambiente com uma área útil de 15,25 m², com uma abertura orientada também a Oeste com 1,60m x 1,60m de dimensões, que garante uma área envidraçada de cerca de 17% quanto à área útil do compartimento. A Figura 41 caracteriza o modelo tridimensional da cozinha e à representação em planta com a enumeração das paredes.

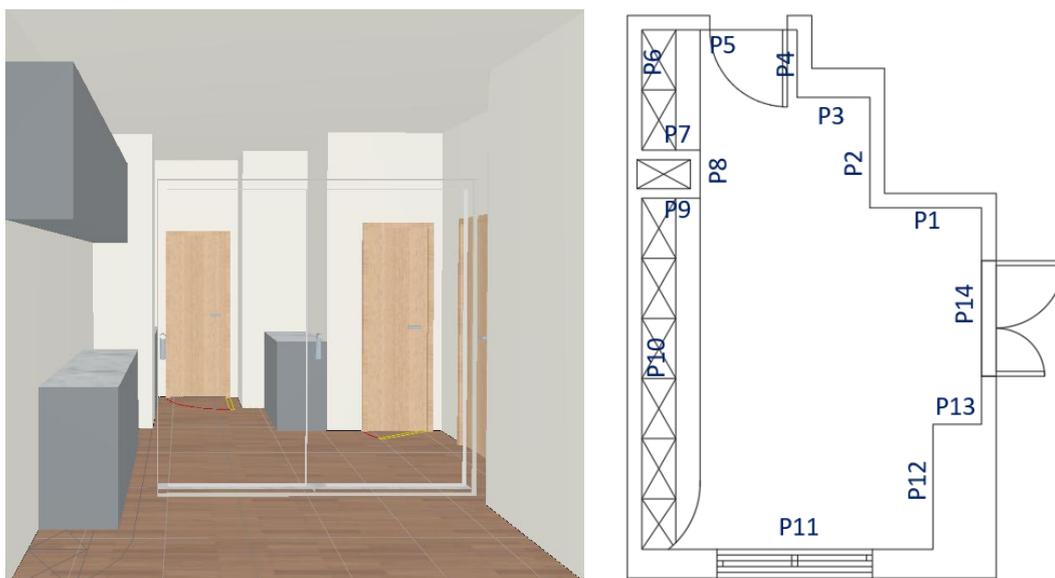


Figura 41 - Modelo tridimensional da Cozinha e identificação das paredes em planta

▪ Níveis de iluminância

As Tabelas 72 e 73 apresentam os resultados das iluminâncias obtidos através das simulações.

Tabela 72 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Cozinha às 9h

		Iluminância (lux) - Hora 9h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,90 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	407 lux	129 lux	344 lux	240 lux	260 lux	398 lux
Iluminância mínima	Emin	149 lux	98 lux	111 lux	193 lux	209 lux	199 lux
Iluminância máxima	Emax	1120 lux	160 lux	550 lux	264 lux	327 lux	646 lux

Tabela 73 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima da Cozinha às 15h

		Iluminância (lux) - Hora 15h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,90 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	564 lux	178 lux	476 lux	332 lux	361 lux	551 lux
Iluminância mínima	Emin	206 lux	136 lux	154 lux	268 lux	290 lux	276 lux
Iluminância máxima	Emax	1550 lux	222 lux	762 lux	365 lux	454 lux	895 lux

As iluminâncias médias dos dois horários estão de acordo com o requisito de BREEAM, isto é, a cozinha apresenta 407 lux às 9h e 564 lux às 15h, estando nos dois casos acima dos 100 lux prescritos como mínimo. A iluminância mínima no ponto mais crítico é de 149 lux para as 9h e 206 lux para as 15h. Embora não é possível visualizar nas tabelas, o que no plano de referência deste ambiente é considerado como ponto crítico é a parte que se encontra próxima à Parede 6/Parede 7. No entanto, como se trata de um ambiente menor, se comparado à sala, e sem elementos de proteção exterior adjacentes ao vão envidraçado, é possível o alcance de resultados além de satisfatórios. Com isto, é seguro afirmar que ambos os requisitos das iluminâncias média e mínima no ponto crítico foram atendidos.

▪ Fator Luz-Dia

Os resultados dos Fatores Luz-Dia médio, mínimo e máximo estão evidenciados na Tabela 74.

Tabela 74 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Cozinha

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,90 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	4,20	1,34	3,58	2,50	2,71	4,14
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	1,50	1,02	1,15	2,01	2,18	2,08
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	11,6	1,66	5,72	2,74	3,41	6,72
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux			
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux			

Por meio das tabelas consegue se observar que o Fator Luz-Dia médio, que necessita atender ao valor mínimo de 1,5%, é superior a este, com um total de 4,2%.

c) Escritório

O escritório conta com uma área útil de 15,10 m², também com uma abertura orientada a Oeste, de dimensões 1,60m x 1,60m, proporcionando uma área envidraçada de cerca de 17% no que respeita a área útil da divisão. A Figura 42 apresenta o modelo tridimensional do ambiente e a representação em planta.



Figura 42 - Modelo tridimensional do Escritório e identificação das paredes em planta

▪ Níveis de iluminância

Os resultados obtidos das iluminâncias encontram-se apresentados nas Tabelas 75 e 76.

Tabela 75 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Escritório às 9h

		Iluminância (lux) - Hora 9h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	481 lux	290 lux	386 lux	328 lux	348 lux	475 lux
Iluminância mínima	Emin	180 lux	224 lux	201 lux	306 lux	157 lux	214 lux
Iluminância máxima	Emax	1430 lux	357 lux	809 lux	355 lux	643 lux	861 lux

Tabela 76 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Escritório às 15h

		Iluminância (lux) - Hora 15h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	667 lux	401 lux	535 lux	455 lux	482 lux	658 lux
Iluminância mínima	Emin	249 lux	310 lux	279 lux	423 lux	218 lux	297 lux
Iluminância máxima	Emax	1980 lux	494 lux	1120 lux	492 lux	892 lux	1190 lux

As iluminâncias médias dos dois horários estão de acordo com o requisito de BREEAM e, analisando os valores, é um ambiente com ótima quantidade de luz natural. Às 9h há uma iluminância média de 481 lux e às 15h de 667 lux. Relativamente à iluminância mínima no ponto crítico é de 180 lux às 9h e 249 lux às 15h.

▪ Fator Luz-Dia

Os resultados dos Fatores Luz-Dia médio, mínimo e máximo estão estabelecidos na Tabela 77. Através destas conclui-se que o Fator Luz-Dia médio, que deve atender 1,2% é muito satisfatório, atingindo um total de 5%.

Tabela 77 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Escritório

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	5,00	3,02	4,02	3,42	3,62	4,94
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	1,90	2,33	2,10	3,18	1,63	2,23
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	14,80	3,71	8,42	3,69	6,70	8,96
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux			
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux			

d) Quarto 1

O Quarto 1 possui uma área útil de 14,80 m² com uma abertura orientada a Este, de dimensões 1,60m x 1,60m, proporcionando uma área envidraçada de cerca de 17% em relação à área útil do compartimento. O modelo tridimensional do ambiente e a representação em planta estão apresentados na Figura 43.

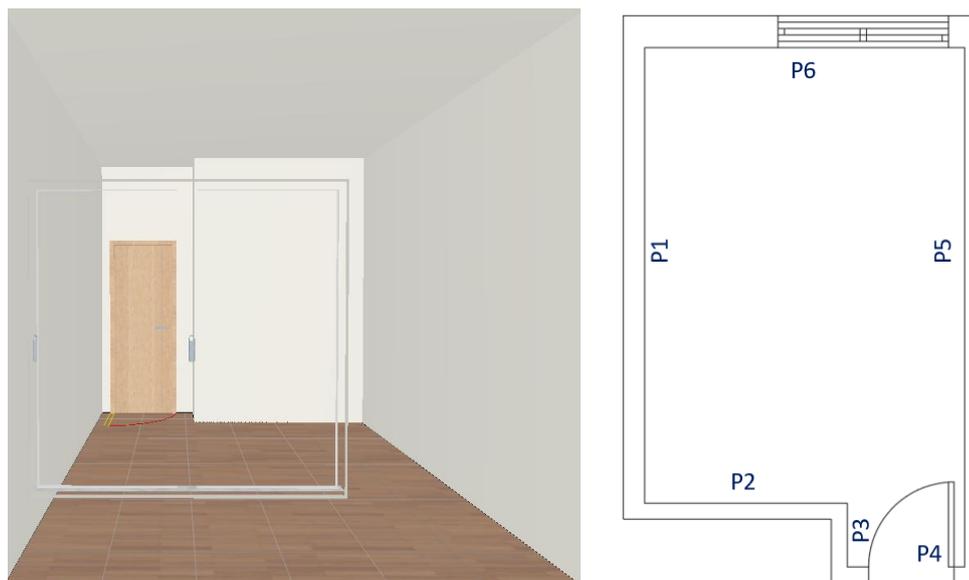


Figura 43 - Modelo tridimensional do Quarto 1 e identificação das paredes em planta

▪ Níveis de iluminância

As Tabelas 78 e 79 refletem os resultados das iluminâncias obtidos das simulações deste ambiente. As iluminâncias médias dos dois horários estão de acordo com o requisito de BREEAM em que, às 9h há uma iluminância média de 434 lux e às 15h de 601 lux. No que toca à iluminância mínima no ponto crítico é de 220 lux às 9h e 304 lux às 15h.

Tabela 78 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 1 às 9h

		Iluminância (lux) - Hora 9h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	434 lux	329 lux	259 lux	336 lux	265 lux	410 lux
Iluminância mínima	Emin	220 lux	234 lux	223 lux	159 lux	224 lux	236 lux
Iluminância máxima	Emax	1090 lux	421 lux	295 lux	826 lux	307 lux	674 lux

Tabela 79 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 1 às 15h

		Iluminância (lux) - Hora 15h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	601 lux	457 lux	359 lux	465 lux	368 lux	568 lux
Iluminância mínima	Emin	304 lux	324 lux	308 lux	220 lux	310 lux	327 lux
Iluminância máxima	Emax	1510 lux	584 lux	409 lux	1140 lux	425 lux	934 lux

▪ Fator Luz-Dia

Os resultados dos Fatores Luz-Dia médio, mínimo e máximo se encontram estão enumerados na Tabela 80. O Fator Luz-Dia médio é de 4,5%, sendo que deve obedecer um mínimo de 1,2%. Está de acordo com o que é imposto pelo sistema BREEAM.

Tabela 80 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 1

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	4,50	3,43	2,70	3,49	2,76	4,27
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	2,30	2,43	2,32	1,65	2,33	2,46
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	11,30	4,39	3,07	8,60	3,19	7,01
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux			
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux			

e) Quarto 2

Este compartimento possui um total de 14,60 m² de área útil, com uma abertura orientada a Este, de dimensões 1,60m x 1,60m, proporcionando uma área envidraçada de cerca de 17% relativamente à área útil do ambiente. A Figura 44 apresenta o modelo tridimensional do espaço e a representação em planta.



Figura 44 - Modelo tridimensional do Quarto 2 e identificação das paredes em planta

▪ Níveis de iluminância

As Tabelas 81 e 82 refletem os resultados das iluminâncias obtidos das simulações deste compartimento. A iluminância mínima no ponto crítico é de 221 lux às 9h e 306 lux às 15h e, no que diz respeito à iluminância média, é de 488 lux às 9h e de 676 lux às 15h. Logo, todas as iluminâncias estão de acordo com os critérios do BREEAM.

Tabela 81 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 2 às 9h

		Iluminância (lux) - Hora 9h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	488 lux	356 lux	341 lux	309 lux	307 lux	454 lux
Iluminância mínima	Emin	221 lux	197 lux	291 lux	236 lux	286 lux	242 lux
Iluminância máxima	Emax	1170 lux	574 lux	388 lux	436 lux	344 lux	716 lux

Tabela 82 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 2 às 15h

		Iluminância (lux) - Hora 15h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	676 lux	494 lux	472 lux	429 lux	426 lux	629 lux
Iluminância mínima	Emin	306 lux	273 lux	403 lux	328 lux	396 lux	336 lux
Iluminância máxima	Emax	1630 lux	796 lux	538 lux	604 lux	477 lux	992 lux

▪ Fator Luz-Dia

A Tabela 83 demonstra os resultados dos Fatores Luz-Dia médio, mínimo e máximo. O FLD médio é de 5,1% e recomendado é que seja pelo menos 1,2%. Então, está consoante com o que é ditado pelo BREEAM.

Tabela 83 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 2

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	5,10	3,71	3,54	3,22	3,20	4,73
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	2,30	2,05	3,02	2,46	2,98	2,52
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	12,20	5,97	4,04	4,54	3,58	7,45
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux			
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux			

f) Quarto 3

A divisão tem um total de 19,15 m² de área útil, com uma abertura orientada a Este, também de dimensões 1,60m x 1,60m, que permite uma área envidraçada de 13% quanto à área útil do compartimento. A Figura 45 apresenta o modelo tridimensional do espaço e a representação em planta.

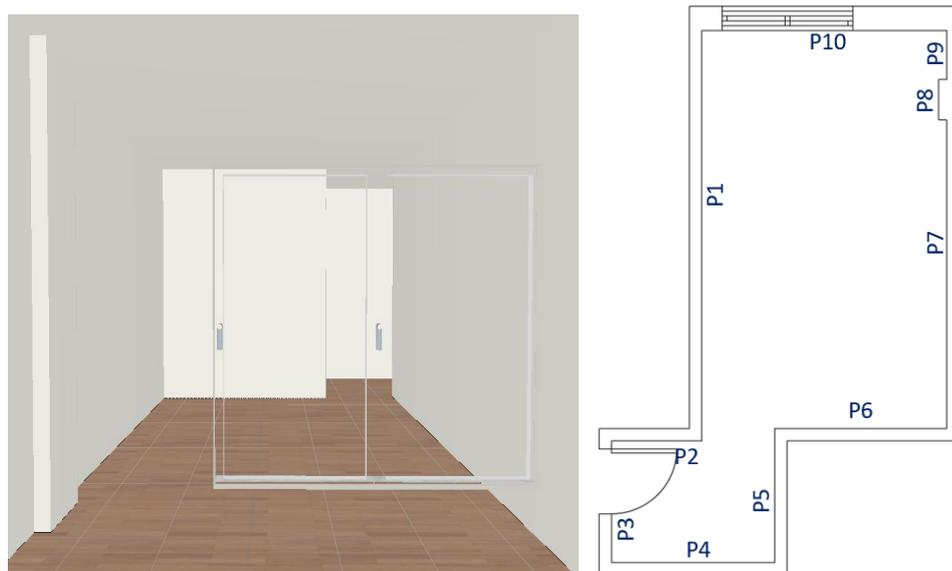


Figura 45 - Modelo tridimensional do Quarto 3 e identificação das paredes em planta

▪ Níveis de iluminância

As Tabelas 84 e 85 resumem os resultados das iluminâncias obtidos das simulações deste ambiente. A iluminância mínima no ponto crítico é de 62 lux às 9h e 83 lux às 15h e, no que diz respeito à iluminância média, é de 250 lux às 9h e de 336 lux às 15h. Logo, todas as iluminâncias estão de acordo com os critérios do BREEAM.

Tabela 84 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 3 às 9h

		Iluminância (lux) - Hora 9h								
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	250 lux	238 lux	4,89 lux	29 lux	10 lux	118 lux	139 lux	112 lux	254 lux
Iluminância mínima	Emin	62 lux	47 lux	3,37 lux	5,4 lux	7,8 lux	98 lux	68 lux	66 lux	66 lux
Iluminância máxima	Emax	1020 lux	960 lux	5,77 lux	58,8 lux	12,4 lux	133 lux	227 lux	167 lux	615 lux

Tabela 85 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Quarto 3 às 15h

		Iluminância (lux) - Hora 15h								
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	336 lux	320 lux	6,58 lux	40 lux	13,4 lux	159 lux	187 lux	150 lux	342 lux
Iluminância mínima	Emin	83 lux	64 lux	4,54 lux	7,3 lux	10,5 lux	133 lux	92 lux	89 lux	89 lux
Iluminância máxima	Emax	1370 lux	1290 lux	7,77 lux	79,2 lux	16,8 lux	179 lux	306 lux	224 lux	829 lux

Nota-se que, à semelhança da sala, este espaço também possui um formato muito comprido e, devido a essa razão, a luz pode se distribuir pelo ambiente de maneira insuficiente e/ou não uniforme. De igual forma também possui uma área que fica mais isolada e mais afastada da janela, fazendo desta área a mais crítica no que tange a quantidade e qualidade de luz natural. As Paredes 2, 3 e 4 são as que apresentam pior desempenho luminoso e, conseqüentemente a parcela do plano de referência que

está em contato com estas, contudo, ainda assim foi possível obter a quantidade mínima de iluminância que preencha os requisitos prescritos pela metodologia BREEAM.

▪ Fator Luz-Dia

Na Tabela 86 estão expostos os resultados dos Fatores Luz-Dia médio, mínimo e máximo. O FLD médio é de 2,6%, sendo que o valor mínimo admissível deve ser 1,2%. Os valores apresentados se encontram em conformidade com o que determinado pela metodologia utilizada aqui como referência.

Tabela 86 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 3

		Fator Luz-Dia (%)								
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	2,60	2,48	0,05	0,30	0,10	1,23	1,44	1,16	2,64
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	0,60	0,49	0,04	0,06	0,08	1,02	0,71	0,69	0,69
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	10,60	10	0,06	0,61	0,13	1,39	2,37	1,73	6,41
Iluminância do exterior 9h	Ea				9610 lux					
Iluminância do exterior 15h	Ea				13300 lux					

5.5.3. Análise comportamental da alteração de algumas variáveis no estudo da iluminação natural

I) Alteração da cota de nível da unidade habitacional

Após a realização das simulações apresentadas acima, para as quais foram utilizados como referência os parâmetros da metodologia BREEAM, de seguida será feita a análise de como se comporta a unidade habitacional perante a alteração do fator cota de nível. Esta alteração será feita com o intuito de confrontar os resultados obtidos com a metodologia SBTool. Todavia, o SBTool só estabelece valores para o Fator Luz-Dia e estes se adequam apenas a unidades residenciais situadas no rés-do-chão. Então, foram realizadas novas simulações considerando que o caso de estudo se encontra localizado no piso térreo. No entanto, no RELUX não é possível a inserção da cota de nível do modelo do projeto, logo, a ferramenta considera por defeito que o projeto está à cota zero, sempre. Visto que a unidade habitacional em estudo se localiza no segundo andar e, para passá-lo para o piso térreo é necessário eliminar dois pisos, a solução adotada foi aumentar a altura dos blocos à volta, que representam edifícios no entorno. À altura total dos blocos foi acrescentado o equivalente a dois pisos e realizadas as simulações novamente.

É fundamental realçar que o SBTool apresenta seus valores de FLD em forma de níveis de desempenho (*benchmarks*) e os resultados obtidos nas simulações serão comparados com estes níveis e de seguida enquadrados como negativo, mínimo, prática convencional ou melhor prática, conforme consta na Tabela 39.

a) Sala

Considerando que a unidade habitacional agora se localiza no rés-do-chão o valor Fator Luz-Dia médio para a Sala é de 1,21% como se pode observar na Tabela 87.

Tabela 87 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Sala considerando a habitação situada no rés-de-chão

		Fator Luz-Dia (%)							
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 4	Parede 5	Parede 8	Parede 10	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	1,21	0,69	0,20	2,50	0,90	1,91	0,52	1,50
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	0,26	0,60	0,15	0,77	0,63	1,05	0,38	0,4
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	4,75	0,75	0,23	6,48	1,30	2,40	0,68	3,35
Iluminância do exterior 9h	Ea				9610 lux				
Iluminância do exterior 15h	Ea				13300 lux				

De acordo com os níveis de desempenho do SBTool, este valor é considerado como um desempenho Negativo, o que já era expectável, uma vez que nas simulações realizadas anteriormente a sala demonstrou ser o ambiente com resultados não satisfatórios e com a mudança da cota para um nível mais baixo, em que a incidência da luz solar se torna menor, é compreensível que tenha um desempenho negativo. Comparando o resultado do Fator Luz-Dia médio da sala na sua cota de nível original com a mesma na cota de nível zero houve uma redução de 17,1% de luz natural.

b) Cozinha

O Fator Luz-Dia médio para a Cozinha é de 3,80% como consta na Tabela 88.

Tabela 88 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo da Cozinha considerando a habitação situada no rés-de-chão

		Fator Luz-Dia (%)						
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto	
Altura do plano de referência		0,90 m	-	-	-	-	-	
Fator Luz-Dia médio	FLDm	3,80	1,30	3,46	2,41	2,62	4,00	
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	1,50	1,00	1,05	1,94	2,10	2,00	
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	10,4	1,62	5,64	2,65	3,30	6,53	
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux				
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux				

Este valor se enquadra como Prática Convencional, porém com resultado muito próximo da melhor prática. Se comparado este valor ao resultado do Fator Luz-Dia médio da cozinha na sua cota de nível original, houve uma redução de 10% de luz natural.

c) Escritório

O Fator Luz-Dia médio para o Escritório é de 4,60% como se verifica na Tabela 89. Este valor se assenta na categoria de desempenho Melhor Prática. Se comparado ao valor do Fator Luz-Dia médio original, houve uma redução de 8% de luz natural.

Tabela 89 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Escritório considerando a habitação situada no rés-de-chão

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	4,60	2,91	3,84	3,30	3,51	4,78
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	1,80	2,25	2,01	3,08	1,58	2,17
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	13,70	3,59	8,13	3,58	6,59	8,70
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux			
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux			

d) Quarto 1

A Tabela 90 apresenta o Fator Luz-Dia médio para o Quarto 1 que é de 4,30%. Com base na metodologia SBTool, este valor se enquadra na categoria de desempenho Melhor Prática. Houve uma redução de apenas 4,5% de luz natural, se comparado ao valor do Fator Luz-Dia médio original.

Tabela 90 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 1 considerando a habitação situada no rés-de-chão

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	4,30	3,25	2,57	3,30	2,59	4,00
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	2,20	2,32	2,18	1,58	2,20	2,31
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	10,40	4,19	2,97	8,04	3,00	6,57
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux			
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux			

e) Quarto 2

A Tabela 91 apresenta o Fator Luz-Dia médio para o Quarto 2 que é de 4,60%. Houve uma redução de 9,8% de luz natural, se comparado ao valor do Fator Luz-Dia médio original e, de acordo com a metodologia SBTool este valor corresponde à categoria de Melhor Prática.

Tabela 91 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 2 considerando a habitação situada no rés-de-chão

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	4,60	3,47	3,29	2,97	2,93	4,34
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	2,20	1,94	2,83	2,27	2,66	2,35
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	11,10	5,75	3,71	4,22	3,29	6,82
Iluminância do exterior 9h	Ea		9610 lux				
Iluminância do exterior 15h	Ea		13300 lux				

f) Quarto 3

O Fator Luz-Dia médio para o Quarto 3 é de 2,30% como se verifica na Tabela 92. Houve uma redução de 11,5% de luz natural, quando comparado Fator Luz-Dia médio original e, de acordo com a metodologia SBTool este valor corresponde à categoria de desempenho Mínimo.

Tabela 92 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Quarto 3 considerando a habitação situada no rés-de-chão

		Fator Luz-Dia (%)								
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	2,30	2,34	0,05	0,29	0,10	1,15	1,33	1,07	2,42
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	0,60	0,45	0,03	0,05	0,08	0,97	0,68	0,63	0,63
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	10,10	9,53	0,06	0,61	0,13	1,31	2,21	1,64	5,90
Iluminância do exterior 9h	Ea		9610 lux							
Iluminância do exterior 15h	Ea		13300 lux							

A Figura 46 permite visualizar os valores dos Fatores Luz-Dia de cada um dos ambientes em ambos os cenários elaborados e comparar os valores destes, no qual é possível comprovar as reduções que ocorreram e que foram descritas acima.

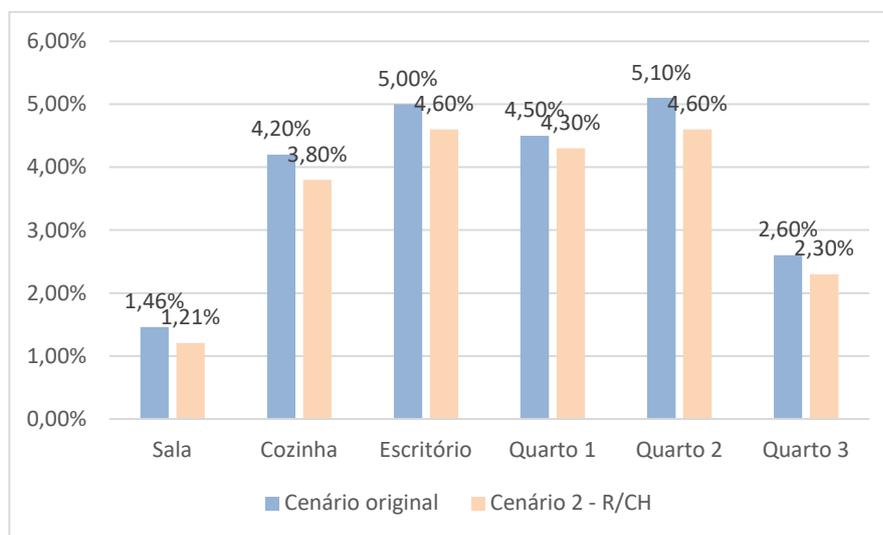


Figura 46 - Comparação dos Fatores Luz-Dia médios entre os cenários original e cenário rés-de-chão

II) Relação da qualidade da iluminação natural com a qualidade térmica do vão envidraçado

A preocupação com o desempenho térmico dos vãos envidraçados vem crescendo cada vez mais e com isso também crescem as exigências a serem atendidas, como a criteriosa escolha do tipo de vidro e outros materiais, da orientação do vão, a utilização de proteções solares/dispositivos de sombreamento, entre outros aspectos que se considerarem importantes.

No entanto, pouco se ouve falar nas implicações que os vários elementos utilizados na tentativa de obter bons resultados térmicos podem trazer para a qualidade da iluminação natural. Assim sendo, esta parte do estudo vem com o propósito de compreender até que ponto os requisitos da qualidade térmica dos vãos envidraçados podem interferir na qualidade da luz natural que adentra pelos compartimentos através destes mesmos vãos envidraçados.

Posto isto, propõe-se o estudo de um dos vãos envidraçados analisados anteriormente, em que serão alteradas algumas variáveis a fim de entender como se dá essa relação qualidade da iluminação/qualidade térmica e quais são as principais diferenças com os resultados obtidos anteriormente neste capítulo.

O vão envidraçado a ser analisado será o do Escritório e as alterações serão as seguintes:

- Vidro duplo incolor: 4mm Guardian ExtraClear Glass + 16mm Cx Argon + 4mm Guardian ExtraClear Glass;
- Proteção exterior com estore veneziano de madeira na cor verde-claro;
- Refletância do vidro – 75%;
- Refletância do estore veneziano – 42%.

A razão pela escolha destes materiais e destas características é avaliar um vão envidraçado que se considera com boa qualidade térmica e que tenha características diferentes do vão analisado anteriormente. A decisão pela proteção exterior com estore veneziano se deu pelo facto do vão se situar a Oeste e esta é uma orientação que muitas vezes necessita de especial atenção, uma vez que este é o lado do sol poente e a radiação solar direta pode causar desconforto térmico derivado do sobreaquecimento do ambiente, principalmente no verão. Logo, pode ser importante a análise da iluminação natural considerando este elemento de proteção, já que a metodologia LEED não impõe nenhuma condição no cálculo da iluminação natural com o uso de estores venezianos exteriores, apenas persianas.

Então, com esta nova versão do vão envidraçado do Escritório serão determinados novamente o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar do mesmo. O fator de obstrução não necessita ser recalculado pois as condições externas ao vão envidraçado permanecem as mesmas.

Coefficiente de transmissão térmica

A Tabela 93 demonstra o resultado do coeficiente de transmissão térmica do v o envidraçado sem o uso de dispositivos de oclusão noturna cujo valor   de 0,89 W/m² C.

Tabela 93 - Determina o do coeficiente de transmissão térmica do v o envidraçado do Escritório sem dispositivo de oclusão noturna (U_w)

Coefficiente de transmissão térmica do v�o envidraçado sem dispositivo de oclusão noturna (U_w)				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m.�C)]	R [(m².�C)/W]	Ref.
Rsi	-	-	0,13	ITE 50
Vidro 1	0,004	1,1	0,0036	Santos <i>et al</i> , 2000
Espaço com gás �rgon	0,016	0,017	0,941	ITE 50
Vidro 2	0,004	1,1	0,0036	Santos <i>et al</i> , 2000
Rse	-	-	0,04	ITE 50
		R_{total} [(m².�C)/W]	1,118	
		U_w [W/(m².�C)]	0,89	

Embora o ambiente aqui em estudo trata-se de escritório, que geralmente não possui ocupa o noturna, este possui, uma vez que se refere a um escritório doméstico pertencente a uma unidade residencial e pode ter ocupa o noturna. Então, foi necessário determinar o coeficiente de transmissão térmica do v o envidraçado com dispositivo de oclusão noturna U_{ws} (Tabela 94).

Tabela 94 - Determina o do coeficiente de transmissão térmica do v o envidraçado do Escritório com dispositivo de oclusão noturna (U_{ws})

Coefficiente de transmissão térmica do v�o envidraçado com dispositivo de oclusão noturna (U_{ws})				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m.�C)]	ΔR [(m².�C)/W]	Ref.
Camada de ar entre o dispositivo de oclusão e a janela	0,05	0,025	2,00	ITE 50
		U_w [W/(m².�C)]	0,89	
		U_{ws} [W/(m².�C)]	0,32	

Logo, calculou-se o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite (Tabela 95), que corresponde à média entre o U_w e o U_{ws} e o resultado obtido foi $0,605 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Tabela 95 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado do Escritório (U_{wdn})

Coeficiente de transmissão térmica média dia-noite do vão envidraçado (U_{wdn})	
U_w [W/(m ² . °C)]	0,89
U_{ws} [W/(m ² . °C)]	0,32
U_{wdn} [W/(m ² . °C)]	0,605

Os resultados aqui apresentados são três vezes inferiores aos valores obtidos no cenário inicial exposto no começo deste capítulo, o que indica que este vão envidraçado possui melhor desempenho térmico que a solução utilizada anteriormente, pelo menos no que se refere ao coeficiente de transmissão térmica.

Fator solar

A Tabela 96 apresenta o valor do fator solar global do vão envidraçado quando as proteções solares se encontram totalmente ativadas. As Tabelas 97 e 98 por sua vez correspondem ao fator solar do vão na estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, e a Tabela 99 consiste numa tabela auxiliar no cálculo do fator solar dos vãos envidraçados para a estação de arrefecimento.

Tabela 96 - Fator solar global do vão envidraçado do Escritório com as proteções solares totalmente ativadas

Fator solar global do vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas			
Elementos	$g_{L,vi}$	g_{Tvc}	$gT = [g_{L,vi} \times (g_{Tvc}/0,75)]$
Vidro duplo incolor (4mm + 4mm) + Estore veneziano de madeira (cor verde-claro)	0,78	0,08	0,083

Tabela 97 - Fator solar do v o envidraçado do Escritório na esta o de aquecimento

Fator solar do v�o envidraçado na esta�o de aquecimento		
$F_{w,i}$	$g_{L,vi}$	$g_i = [F_{w,i} \times g_{L,vi}]$
0,9	0,78	0,702

Tabela 98 - Fator solar do v o envidraçado do Escritório na esta o de arrefecimento

Fator solar do v�o envidraçado na esta�o de arrefecimento			
F_{mv} E/W	g_T	g_{TP}	$g_v = [F_{mv} \times g_T + (1-F_{mv}) \times g_{TP}]$
0,6	0,083	0,663	0,315

Tabela 99 - Fator solar global do v o envidraçado do Escritório com todos os dispositivos de prote o solar permanentes existentes

Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de prote�o solar permanentes existentes		
$F_{w,v}$ E/W	$g_{L,vi}$	$g_{TP} = [F_{w,v} \times g_{L,vi}]$
0,85	0,78	0,663

Observando os valores das tabelas pode-se afirmar que houve um aumento em todos os fatores solar, pois os vidros aqui possuem uma espessura ligeiramente menor que no cenário anterior e o espaçamento existente entre as lâminas do estore veneziano permitem entrada e penetra o da radia o solar através do vidro, ao contrário das persianas de réguas plásticas que quando ativas não possibilitam a passagem da radia o solar.

Analisando os critérios de desempenho térmico, as altera es propostas para este v o envidraçado demonstraram ser satisfatórias, no sentido em que foi possível alcançar melhorias na qualidade térmica do v o envidraçado e conseqentemente no ambiente em que este se encontra inserido. Agora resta descobrir como que estas altera es irão interferir na qualidade da luz natural.

Iluminação Natural

As alterações efetuadas na ferramenta RELUX foram a inserção do estore veneziano de madeira na cor verde-claro como elemento de proteção exterior e uma ligeira redução na refletância do vidro. A Figura 47 demonstra o modelo tridimensional do Escritório, destacando o vão envidraçado com a aplicação do elemento de proteção.



Figura 47 - Modelo tridimensional do vão envidraçado do escritório com alterações que visam a qualidade do conforto térmico

Após a realização das alterações na ferramenta RELUX, foram efetuados novamente os cálculos da luz natural com o intuito de compreender até que ponto essas duas alterações seriam capazes de influenciar nos níveis da iluminação natural. Deste modo, as tabelas seguintes vêm com o propósito de apresentar os resultados obtidos.

A Tabela 100 apresenta as iluminâncias médias, mínimas e máximas do Escritório às 9h e a Tabela 101 corresponde ao horário das 15h.

Tabela 100 - Valores das iluminâncias média, mínima e máxima do Escritório às 9h (com altera es)

		Iluminância (lux) - Hora 9h					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	119 lux	106 lux	127 lux	93 lux	115 lux	171 lux
Iluminância m�nima	Emin	76 lux	74 lux	71 lux	78 lux	58 lux	76 lux
Iluminância máxima	Emax	170 lux	205 lux	351 lux	104 lux	276 lux	333 lux

Tabela 101 - Valores das iluminâncias m dia, m nima e máxima do Escritório  s 15h (com altera es)

		Iluminância (lux) - Hora 15h					
		Plano de refer�ncia	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de refer�ncia		0,80 m	-	-	-	-	-
Iluminância média	Em	165 lux	147 lux	176 lux	129 lux	160 lux	237 lux
Iluminância mínima	Emin	106 lux	102 lux	99 lux	109 lux	80 lux	105 lux
Iluminância máxima	Emax	235 lux	284 lux	486 lux	144 lux	382 lux	461 lux

Se relacionadas com a metodologia BREEAM tem-se que em ambos os horários as iluminâncias se encontram em conformidade com o que   estabelecido, ou seja, a iluminância média encontra-se acima dos 100 lux e a iluminância mínima no ponto mais crítico está acima dos 30 lux.

No que toca ao Fator Luz-Dia (Tabela 102), este está segundo os requisitos do BREEAM, pois para o ambiente escritório o menor valor do Fator luz-Dia médio admissível   de 1,2% e este ambiente conta com 1,24%.

Tabela 102 - Valores do Fator Luz-Dia médio, mínimo e máximo do Escritório (com altera es)

		Fator Luz-Dia (%)					
		Plano de referência	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Teto
Altura do plano de referência		0,80 m	-	-	-	-	-
Fator Luz-Dia médio	FLDm	1,24	1,11	1,32	0,97	1,20	1,78
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin	0,79	0,77	0,74	0,82	0,60	0,79
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax	1,76	2,13	3,65	1,08	2,87	3,47
Iluminância do exterior 9h	Ea			9610 lux			
Iluminância do exterior 15h	Ea			13300 lux			

Os valores obtidos nesta simula o demonstraram estar de acordo com a metodologia de referência. N  obstante,   importante entender quais foram as principais diferenças em rela o aos resultados do cenário original e, com esta

finalidade se apresentam as Tabelas 103 a 105, as quais mostram os valores relativos apenas ao plano de referência.

Tabela 103 - Iluminâncias do Escritório às 9h - Comparação entre o cenário original e o cenário com alterações

Iluminância do Escritório (lux) - Hora 9h			
		Cenário original	Com alteração de algumas variáveis
Altura do plano de referência		0,80 m	0,80 m
Iluminância média	Em	481 lux	119 lux
Iluminância mínima	Emin	180 lux	76 lux
Iluminância máxima	Emax	1430 lux	170 lux

Tabela 104 - Iluminâncias do Escritório às 15h - Comparação entre o cenário original e o cenário com alterações

Iluminância do Escritório (lux) - Hora 15h			
		Cenário original	Com alteração de algumas variáveis
Altura do plano de referência		0,80 m	0,80 m
Iluminância média	Em	667 lux	165 lux
Iluminância mínima	Emin	249 lux	106 lux
Iluminância máxima	Emax	1980 lux	235 lux

A Tabela 103 é referente às 9h e a Tabela 104 às 15h e as duas demonstram que, comparado ao cenário original, houve grandes reduções nas iluminâncias, em que em ambos horários a iluminância média diminuiu cerca de 75%, a mínima aproximadamente 58% e a máxima 88%. A redução é mais significativa na iluminância máxima, ao qual também se pode observar na Figura 48.

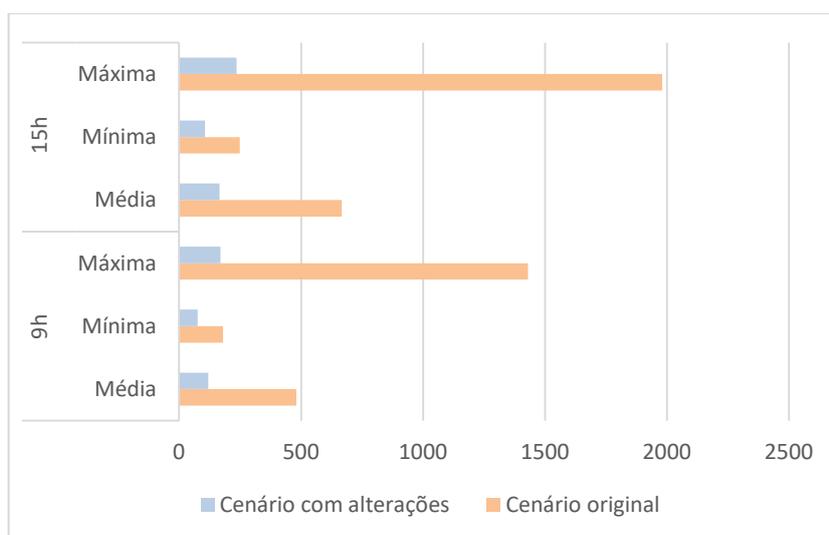


Figura 48 - Iluminâncias média e mínima do escritório

E como é compreensível, essa redução também se fez presente no Fator Luz-Dia e é proporcional à redução das iluminâncias. O Fator Luz-Dia médio reduziu aproximadamente 75%, o mínimo 58% e o máximo 88%, em que a maior redução também se nota no Fator Luz-Dia máximo, como se é possível constatar na Tabela 105 e na Figura 49.

Tabela 105 - Fator Luz-Dia do Escritório - Comparação entre o cenário original e o cenário com alterações

Fator Luz-Dia do Escritório (%)		
	Cenário original	Com alteração de algumas variáveis
Altura do plano de referência	0,80 m	0,80 m
Fator Luz-Dia médio	FLDm 5,00	1,24
Fator Luz-Dia mínimo	FLDmin 1,90	0,79
Fator Luz-Dia máximo	FLDmax 14,80	1,76
Iluminância do exterior 9h	Ea 9610 lux	9610 lux
Iluminância do exterior 15h	Ea 13300 lux	13300 lux

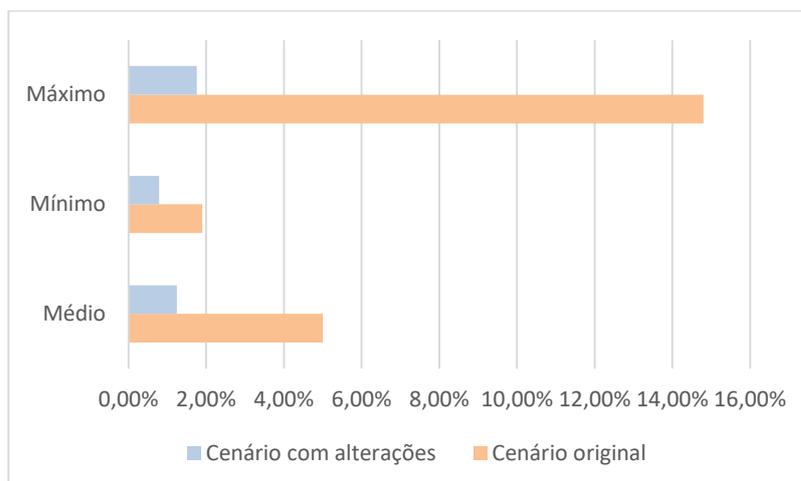


Figura 49 - Fatores Luz-Dia do escritório para o cenário original e para o cenário com alterações no vão envidraçado

6. Conclusões

6.1. Resumo do trabalho realizado

Este trabalho teve o objetivo de realizar um estudo que pretendeu analisar o comportamento térmico e de iluminação natural de diferentes tipologias de sistemas envidraçados para edifícios residenciais em função da composição dos materiais e cota de nível e, com base nisso, identificar os casos com desempenho térmico e níveis de iluminação natural satisfatórios.

O trabalho teve início com uma contextualização acerca da importância e evolução dos vãos envidraçados na arquitetura, apresentando os tipos de vãos existentes, seus materiais e elementos constituintes. Posteriormente, através de uma pequena abordagem teórica deu-se a conhecer os fenômenos de transferência de calor que ocorrem nos vãos envidraçados e de metodologias de cálculo utilizadas para estes mesmos fenômenos.

Seguidamente foi conduzida uma análise das legislações nacionais vigentes que determinaram os requisitos impostos na área do desempenho térmico e de iluminação dos vãos envidraçados. Nesta fase foram levados em consideração os regulamentos e códigos de Portugal e Espanha e ainda complementada com algumas exigências dos sistemas de avaliação de sustentabilidade BREEAM, LEED e SBTTool. Foi ainda realizada uma abordagem às ferramentas de simulação computacional com o propósito de esclarecer o seu modo de funcionamento e fazer uma análise comparativa entre diferentes ferramentas para que pudesse escolher à que melhor se adequasse aos objetivos pretendidos.

Por fim, após a definição do caso de estudo, foram realizados os cálculos dos parâmetros térmicos e as simulações computacionais a fim de ver se estes cumpriam as exigências e entender as diferenças no comportamento térmico e na iluminação natural consoante diferentes configurações de vãos envidraçados e identificar os melhores e os piores resultados.

6.2. Considerações finais

Este capítulo apresenta as conclusões alcançadas ao longo do decorrer deste trabalho que teve como objetivo conduzir um estudo que procurou investigar o comportamento térmico e de iluminação natural de algumas tipologias de sistemas envidraçados (vãos e dispositivos de proteção solar) de uma unidade habitacional. Desta forma, para a correta avaliação dos requisitos térmicos procedeu-se ao cálculo dos parâmetros e relativamente aos requisitos de iluminação recorreu-se a simulações computacionais. De seguida, os resultados obtidos foram comparados com os dos regulamentos e sistemas de avaliação de sustentabilidade a fim de verificar se estes atendem ao que é exigido.

As simulações computacionais foram realizadas três vezes. A primeira vez considerando o cenário original/base, a partir do qual foi possível concluir que a Sala foi o compartimento que não cumpriu os critérios da metodologia BREEAM para a iluminância mínima no ponto mais crítico. Isso aconteceu devido ao fato de existir a varanda, cujos elementos horizontais e verticais não permitem a entrada de luz natural suficiente. É também por essa mesma razão que não se verificaram alguns critérios do Fator de obstrução da radiação solar para este ambiente. A existência das paredes e da laje na varanda tornam difíceis o alcance de resultados satisfatórios devido ao fato destes serem elementos contruídos e que não podem ser alterados. Para a qualidade da iluminação natural, explorar o uso de materiais com maior refletância possibilitaria obter melhores níveis de luz natural.

A segunda simulação foi realizada alterando a cota de nível da unidade habitacional com o objetivo de estabelecer uma relação com os níveis de desempenho do SBTool. A maioria dos compartimentos obteve resultados de Fator Luz-Dia aceitáveis, no entanto, a Sala, como expectável, contou com o pior desempenho de todos, seguindo-se o Quarto 3 com pior comportamento. A alteração da cota trouxe uma redução de luz natural que vai desde 4,5% a 17,1% (a depender do compartimento) a comparar com o cenário original, provando que a cota de nível é um dos fatores determinante para a quantidade/qualidade de luz natural.

A terceira simulação contou com a análise de apenas um compartimento, o Escritório (à cota de nível original), no qual foi aplicada outra tipologia de vão envidraçado em conjunto com um estore veneziano, idealizados com o propósito de garantir um melhor desempenho térmico ao vão. Por conseguinte, passou a haver um obstáculo que anteriormente não existia em frente ao painel de vidro e a refletância do vidro diminuiu em 5%. Com isto, observou-se que os resultados continuaram aceitáveis e em conformidade com a metodologia BREEAM, porém, houve perdas significativas na quantidade de luz natural incidente no ambiente, tanto a analisando as iluminâncias, como o Fator Luz-Dia.

Por fim, com a análise proposta neste trabalho concluiu-se que um bom desempenho da iluminação natural num ambiente interno está condicionado a diversos fatores que vão muito além da localização, nebulosidade do céu, disposição e características dos compartimentos em que os vãos envidraçados se encontram inseridos. As soluções adotadas na tentativa de promover um bom desempenho térmico também influenciam diretamente na qualidade/quantidade de luz natural e compreender melhor de que forma esses parâmetros térmicos podem intervir na iluminação natural pode ser muito útil para a tomada de decisões dos projetos e a garantia de estar a promover aos usuários conforto térmico e de iluminação.

6.3. Sugestões para futuros trabalhos

Este trabalho pretendeu dar mais destaque à temática da iluminação natural que frequentemente é negligenciada e permite uma abordagem clara relativamente à importância da iluminação natural, não só nos edifícios de habitação, como nos edifícios em geral, e, como esta pode ser influenciada por outros fatores como a procura pelo bom desempenho térmico dos vãos envidraçados.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros propõe-se a análise da influência de outras variáveis como outras tipologias de dispositivos de proteção solar, outros materiais com características e refletâncias diferentes, redução ou aumento das áreas dos envidraçados, variadas orientações e localizações. Assim seria possível um estudo mais aprofundado e a obtenção de um maior leque de resultados que possibilitem compreender melhor de que forma os parâmetros térmicos intervêm na qualidade da luz natural.

Além disso, seria interessante um estudo em outras tipologias de edifícios, como por exemplo escritórios, escolas e hospitais, pois as exigências e recomendações para estas tipologias são geralmente mais rigorosas do que para edifícios residenciais, nomeadamente em termos de requisitos de iluminação natural.

Referências bibliográficas

ADENE (2017a). Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). “K13. Nas situações em que existe caixilharia dupla com proteção solar entre estas, como é que deverão ser calculados o coeficiente de transmissão térmica e os fatores solares a utilizar na estação de aquecimento e arrefecimento?”. Disponível em: <sce.pt>. Acesso em: nov/2021.

ADENE (2017b). Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). “Como determinar o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidracado U_w ou U_{wdn} quando se conhece o valor do U do vidro, U_g e o U do caixilho, U_f ?”. Disponível em: <sce.pt>. Acesso em: nov/2021.

ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Disponível em: <www.ashrae.org>. Acesso em: fev/2022.

BREEAM (2016). BREEAM International New Construction 2016: Technical Manual. Disponível em: <www.breeam.com>. Acesso em: fev/2022.

Chaves, F. (2003). Inovação na Indústria da caixilharia. *Prova de Mestrado Em Design Industrial Apresentada ...*. <http://www.filipechaves.com/DOCs/Caixilharia.pdf>

Chen, X., Yang, H., & Lu, L. (2015). A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1425–1436. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.003>

Christakou, E. D. (2004). *A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura*.

COUTINHO, M. S. (2009). Avaliação das condições de iluminação natural através de simulações em modelos virtuais—O estudo de caso da reitoria da Universidade Nova de Lisboa. *Instituto Superior Técnico Da Universidade Técnica de Lisboa*.

da Silva Pinho, V. M. R. (2013). *Caracterização térmica de vãos envidraçados e respectivas protecções solares*.

Diogo, A. C. D. F. (2012). Sistemas Envidraçados com e sem Protecção Solar. *Instituto Suoerior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa*.

Decreto-Lei n.º 118/2013. Ministério da Economia e do Emprego. Diário da República, 1.ª série — N.º 159 — 20 de agosto de 2013.

Decreto-Lei n.º 38:382. Ministério das Obras Públicas. Diário do Governo, 1.ª série — N.º 166 — 7 de agosto de 1951.

Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia. Diário da República, 2.ª série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013.

Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia. Diário da República, 2.ª série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013.

Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia. Diário da República, 2.ª série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013.

Documento Básico, Ahorro de energia (2020). Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento – Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. 20 de dezembro de 2019. Disponível em: <codigotecnico.org>. Acesso em: março/2022.

Documento de Apoyo al Documento Básico (DB-HE), Ahorro de energia (2020). Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana – Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Janeiro de 2020. Disponível em: <codigotecnico.org>. Acesso em: março/2022.

Fernandes, J. T. (2016). *Qualidade da Iluminação Natural e o Projeto Arquitetônico*. 344.

Gemelli, C. S. B. (2009). *Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico*.

Lima, T. B. S., & Christakou, E. D. (2014). Projeto de iluminação natural: ferramentas para cálculo e avaliação. *A Paranoá Mudou de Endereço-Http://Periodicos. Unb. Br/Index. Php/Paranoa*, 3, 49–57.

LNEC (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50. Lisboa, LNEC.

Marcos, A. J. V. (2013). *“Vãos Envidraçados em Edifícios de Habitação : Otimização , Eficiência Energética e Análise Económica.”* 1–190.

Mateus, R. (2009). *Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*.

Mendes, V. G. P. (2010). *Quantificação do coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados: modelo de cálculo*.

Ministério do Ambiente, O. do T. e E.-G. de E. e G. (2013). *Despacho (Extrato) n. ° 15793-K/2013*. Diário da República Lisbon, Portugal.

Pereira Tavares, M. C. (2016). Desempenho térmico de edifícios residenciais em clima temperado: o efeito de grandes áreas de envidraçados. *AMBIENS. Revista Iberoamericana Universitaria En Ambiente, Sociedad y Sustentabilidad*, 2(3), 73–99. <https://doi.org/10.22395/ambiens.v2n3a4>

Pizarro, P. R. (2005). *Estudo das variáveis do conforto térmico e luminoso em ambientes escolares*.

Portaria n.º 349-B/2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia. Diário da República, 1.ª série — N.º 232 — 29 de novembro de 2013.

Ramos, G. (2008). *Análise da iluminação natural calculada por meio do programa Energyplus*.

SANTOS, A., ANTUNES, S., & MATIAS, L. (2000). ASPECTOS ENERGÉTICOS E ACÚSTICOS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS. *Researchgate. Net*.

Santos, A. J. (2016). *Metodologias de Caracterização das Condições Ambientais de Iluminação Natural nos Edifícios. September 2000*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5093.4808>

SBTool 2020 A: Regional settings for Residential Apartment and Hotel/motel occupancies in BigTown, SomePlace; Maximum scope. Disponível em: <www.iisbe.org>. Acesso em: fev/2022.

USGBC (U.S. Green Building Council, 2020). LEED V4.1 Residential Bd+C Multifamily Homes. Disponível em: <www.usgbc.org>. Acesso em: fev/2022.

Veríssimo, B. M. L. (2019). *Influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico de edifícios de habitação*.

Anexos

Anexo 1 - Simulação da unidade habitacional às 9h

Anexo 2 - Simulação da unidade habitacional às 15h

Anexo 3 - Simulação da unidade habitacional à cota de nível zero às 9h

Anexo 4 - Simulação da unidade habitacional à cota de nível zero às 15h

Anexo 5 - Simulação do Escritório às 9h

Anexo 6 - Simulação do Escritório às 15h

Podem ser consultados no formato digital