



Estudo do Comportamento Térmico do Sistema de Janela OTIIMA

ANA MARIA ALVES AMARAL

outubro de 2017

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE JANELA OTIIMA

ANA MARIA ALVES AMARAL

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Eunice Maria Vilaverde Fontão

Supervisor: Arq. Levi Barros (Ecosteel)

OUTUBRO DE 2017

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xvii
Abreviaturas	xxi
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 Apresentação da empresa e da caixilharia OTIIMA	9
CAPÍTULO 3 Estudo do comportamento térmico do sistema de janela OTIIMA	29
CAPÍTULO 4 Aplicação do método de cálculo ao Edifício Dom Pedro	47
CAPÍTULO 5 Considerações finais	93
Referências Bibliográficas	97
Anexo I- Ficha callumen- saint gobain (Vidro $U_g=0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$).....	99
ANEXO II- Corte Edifício Dom Pedro	103
ANEXO III- Plantas Originais	107
ANEXO IV- Representação em alçado das diferentes tipologias de vãos envidraçados	113
ANEXO V- Representação dos nós.....	121
ANEXO VI- Análise ao vento	131

RESUMO

O presente relatório foi realizado no âmbito da unidade curricular de Estágio (DIPRE), do 2º semestre do 2º ano, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, do ramo de Construções e tem como objetivo descrever o estágio realizado, relatando as tarefas realizadas no contexto do mesmo.

Neste relatório apresenta-se a empresa onde decorreu o estágio, EcoSteel, e a caixilharia de marca OTIIMA utilizada pela empresa. No âmbito do estágio foi desenvolvido um estudo do comportamento térmico do sistema de janela OTIIMA da empresa.

É descrito o método de cálculo do coeficiente de transmissão térmica do sistema de janela através do programa de cálculo utilizado no período de estágio e são referidas as normas europeias em que o programa de cálculo se baseia. O conhecimento do coeficiente de transmissão térmica das janelas é fundamental para calcular o comportamento térmico do edifício.

Constata-se que os valores presentes nas tabelas do ITE50 não possuem os coeficientes de transmissão térmica para todos os sistemas de janelas disponíveis no mercado e que a quantificação do coeficiente de transmissão térmica por meio de um programa de cálculo permite obter o coeficiente de transmissão térmica para diversos tipos de vãos tornando o processo mais fácil e rápido.

Aplica-se o método de cálculo do coeficiente de transmissão térmica do sistema de janela OTIIMA a um projeto denominado Edifício Dom Pedro. Realizaram-se cinco estudos, variando a espessura do vidro, a expressão de alumínio e introduzindo materiais de baixa condutibilidade térmica.

O estudo desenvolvido permite estabelecer relações entre o coeficiente de transmissão térmica da janela, a área de vidro, o coeficiente de transmissão térmica do vidro e permite ainda observar a influência dos diferentes materiais usados na constituição da caixilharia.

Palavras-chave: Caixilharia, Janela, Coeficiente de Transmissão Térmica, EcoSteel, Programa de Cálculo, OTIIMA

ABSTRACT

This report was made within the scope of the internship (DIPRE), in the 2nd semester of the 2nd year of the course, to obtain a Master's Degree in Civil Engineering, in the Construction sector. The objective of this report is to describe the internship reporting the tasks that were performed.

This report presents the company, Ecosteel, where the Internship occurred and the OTIIMA frame brand used by the company. Within the scope of the internship, a study of the thermal behaviour of the window system OTIIMA of Ecosteel was developed. The knowledge of the coefficient of thermal transmission of the windows is fundamental to calculate the thermal behaviour of the building.

The method of calculating the heat transfer coefficient of the window system is described using the calculation program adopted during the internship period and the European standards on which the calculation program is based are also described.

It can be observed that the values present in the ITE50 tables do not have the coefficients of thermal transmission for all window systems available on the market and that the quantification of the coefficient of thermal transmission by means of a calculation program allows obtaining the coefficient of thermal transmission for various types of spans making the process easier and faster.

During the internship the method of calculating the coefficient of thermal transmission of the OTIIMA window system was applied to a project called Edifício Dom Pedro. Five studies were carried out, varying the thickness of the glass, the expression of aluminum and introducing materials of low thermal conductivity in order to make comparisons between the studies and to draw conclusions about the thermal behaviour of the window system OTIIMA.

The study allows the establishment of relations between the thermal transmission coefficient of the window, the glass area and the coefficient of thermal transmission of the glass and it also allows the observation of the influence of the different materials used in the constitution of the window frame.

Keywords: Frames, Window , Thermal Transmission Coefficient, Ecosteel, Calculation Program, OTTIMA

AGRADECIMENTOS

A realização deste relatório marca o fim de mais uma importante etapa da minha formação académica, por esse motivo gostava de agradecer a todos os que direta ou indiretamente me ajudaram a cumprir os meus objetivos.

Aos meus pais, Maria Aurora e Ulisses, por todo o vosso apoio, compreensão e incentivo ao longo destes anos e por serem modelos de coragem e determinação.

À Professora Eunice Fontão, minha orientadora, pela dedicação e disponibilidade na colaboração sempre que por mim foi solicitada e por todo o incentivo ao longo da realização do trabalho.

À empresa Ecosteel, em particular ao Sr. José Maria Ferreira, pela oportunidade da realização do estágio e contributo para o meu crescimento a nível profissional.

À Eng^a. Carla Carvalho pela iniciativa de me conduzir ao departamento de I&D e ao Arq. Frederico Ferreira por ter aprovado que o estágio fosse realizado neste departamento.

Um agradecimento especial ao Arq. Levi Barros, meu supervisor, pela transmissão de conhecimentos, profissionalismo e apoio durante todo o período do estágio.

Aos restantes colaboradores da Ecosteel, pela simpatia e acompanhamento ao longo do período de estágio.

A todos os meus colegas de curso, em particular à Cláudia Pinto, minha companheira de grupo e de estudo e à Cláudia Oliveira, por toda a ajuda e disponibilidade.

Por fim, e não menos importante, gostaria de agradecer aos meus amigos que me acompanharam ao longo da minha formação, em especial aos que estiveram sempre presentes e fizeram com que este percurso fosse mais entusiasmante.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Introdução.....	1
1.2	Enquadramento geral	1
1.3	Estrutura do relatório	7
CAPÍTULO 2	Apresentação da empresa e da caixilharia OTIIMA	9
2.1	Apresentação da empresa	9
2.2	Apresentação da caixilharia OTIIMA.....	16
2.2.1	Sistemas OTIIMA.....	18
2.2.2	Séries OTIIMA	23
CAPÍTULO 3	Estudo do comportamento térmico do sistema de janela OTIIMA	29
3.1	Introdução.....	29
3.2	Apresentação dos programas de cálculo utilizados na Ecosteel	30
3.3	Normas e programas de cálculo	30
3.4	Aplicação dos programas de cálculo.....	35
CAPÍTULO 4	Aplicação do método de cálculo ao Edifício Dom Pedro	47
4.1	Apresentação do projeto	47
4.2	Preparação e estudos efetuados	50
4.2.1	Preparação de dados para posterior cálculo.....	50
4.2.2	Estudo 1- Caixilharia PLUS 38 mm	53
4.2.3	Estudo 2- Caixilharia PLUS 54 mm	60
4.2.4	Estudo 3- Caixilharia PLUS 38 mm com reforço	67

ÍNDICE DE TEXTO

4.2.5	Estudo 4- Caixilharia PLUS 54 mm com reforço	75
4.2.6	Estudo 5- Caixilharia PLUS 54 mm com reforço, espumas e capa de PVC.....	82
4.2.7	Análise de resultados.....	89
CAPÍTULO 5	Considerações finais.....	93
5.1	Conclusões	94
5.2	Desenvolvimentos futuros.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Evolução do material usado na caixilharia ao longo do tempo [2]	2
Figura 1.2- Caixilharia de madeira [3]	3
Figura 1.3- Caixilharia de alumínio [5].....	4
Figura 1.4- Caixilharia de PVC [6]	5
Figura 1.5- Caixilharia composta por alumínio no exterior e PVC no interior [6]	5
Figura 1.6- Caixilharia composta por madeira e alumínio [6]	6
Figura 1.7- Caixilharia composta por madeira e PVC [6].....	6
Figura 1.8- Caixilharia composta por madeira, PVC e alumínio [6].....	6
Figura 2.1- Logótipo da empresa [7]	9
Figura 2.2- Organograma funcional da Ecosteel	10
Figura 2.3- Fase inicial da impressão 3D de protótipo para posteriores testes.....	11
Figura 2.4- Rolos de PLA para posterior impressão 3D [8].....	11
Figura 2.5- Fases da impressão 3D de protótipos	12
Figura 2.6- Protótipos após impressão.....	12
Figura 2.7- Simulação de protótipo de puxador na caixilharia real	13
Figura 2.8- Testes de estanquidade à água da caixilharia.....	14
Figura 2.9- Comparação dos valores de U_w para os diversos materiais usados em caixilhari- as (adaptado de [9]).....	15
Figura 2.10- Logótipo da marca OTIIMA [7]	16
Figura 2.11- Janela minimalista OTIIMA [9]	17
Figura 2.12- Exemplos de obras relevantes realizadas nos últimos anos pela Ecosteel [10].....	17

Figura 2.13- Sistema de janela OTIIMA Classic.....	18
Figura 2.14- Sistema de janela OTIIMA Plus.....	20
Figura 2.15- Sistema de janela OTIIMA Comfort.....	21
Figura 2.16- Sistema de Janela OTIIMA Drain	22
Figura 2.17- Sistema de janela OTIIMA Open.....	22
Figura 2.18- Exemplo da série 16 Classic [11]	24
Figura 2.19- Exemplo da série 26 Plus [11]	25
Figura 2.20- Sistemas aplicados na Série 38 mm [11].....	26
Figura 2.21- Sistemas aplicados na Série 54 mm [11].....	27
Figura 3.1- Valor da transmissão térmica para caixilharias com corte térmico [13].....	33
Figura 3.2- Valores do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) para perfis intercalares metálicos (adaptado de [13]).....	34
Figura 3.3- Valores do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) para perfis intercalares de desempenho térmico melhorado (adaptado de [13]);	35
Figura 3.4- Variação do preço de vidro com diferente Ug [14].....	36
Figura 3.5- Janela em estudo vista em planta	36
Figura 3.6- Alçado da Janela com os respetivos nós que a constituem	37
Figura 3.7- Menu principal do Frame Simulator.....	40
Figura 3.8- Escolha do fluxo de calor correspondente ao nó.....	40
Figura 3.9- Isolamento do painel de vidro.....	41
Figura 3.10- Exemplo de aplicação do material alumínio no programa de cálculo	41
Figura 3.11- Nó final com todos os materiais aplicados.....	42
Figura 3.12- Definição das condições fronteira.....	43
Figura 3.13- Resultados finais do nó V1 obtidos no Frame Simulator	44
Figura 3.14- Representação do alçado no Frame Composer	45
Figura 3.15- Introdução do valor de U_f e Ψ do nó v1 no Frame Composer	45
Figura 3.16- Representação do valor de todos os nós no Frame Composer.....	46
Figura 3.17- Alçado da janela com valor de U_f dos nós e U_g do vidro	46

Figura 4.1- Registo Fotográfico do Antigo Hotel Nau [16]	47
Figura 4.2- 3D da fachada do Edifício Dom Pedro [16]	48
Figura 4.3- Filigrana utilizado na ornamentação da fachada	49
Figura 4.4- Planta do Piso R/C (não está à escala)	50
Figura 4.5- Alçado do vão V2.....	52
Figura 4.6- Capas centrais com e sem reforço	68
Figura 4.7- Representação das cavidades ocas (espaços vazios)	82
Figura 4.8- Variação do valor de U_w com o valor de U_g	90
Figura 4.9- Variação U_w com utilização da caixilharia 38 mm com e sem reforço.....	90
Figura 4.10- Variação de U_w com utilização da caixilharia 54 mm com e sem reforço.....	91
Figura 4.11- Variação de U_w com utilização da caixilharia 54 mm com reforço e com reforço/espuma e PVC.....	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Nome e descrição dos elementos que compõem a caixilharia Classic.....	19
Tabela 2.2- Nome e descrição dos elementos que compõem a caixilharia Plus.....	20
Tabela 2.3- Nome e descrição dos elementos que constituem o sistema Comfort	21
Tabela 2.4- Nome e descrição dos elementos que constituem o sistema Open	23
Tabela 2.5 - Sistemas e respetivas séries OTIIMA	24
Tabela 3.1- Composição do vidro usado na simulação	36
Tabela 3.2- Tabela dos nós que compõe a janela	38
Tabela 3.3- Lista de materiais que constituem a caixilharia e respetiva condutividade térmica (adaptado de [15])	42
Tabela 3.4- Lista de materiais que constituem o vidro e o espaçador e respetiva condutividade térmica (adaptado de [15])	43
Tabela 3.5- Valores de U_f e Ψ dos nós que compõem a janela	44
Tabela 4.1- Estudos efetuados	49
Tabela 4.2- Mapa de quantidades das tipologias das janelas - Edifício Dom Pedro	51
Tabela 4.3- Valores dos nós para o Estudo 1	53
Tabela 4.4- Valores do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) do Edifício D.Pedro com sistema 38 PLUS sem reforço $U_g=0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$	54
Tabela 4.5- Valores do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) do Edifício D.Pedro com sistema 38 PLUS sem reforço $U_g=1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$	56
Tabela 4.6- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 38 PLUS sem reforço $U_g=1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$	58
Tabela 4.7- Resumo - Estudo 1	60
Tabela 4.8- Valores dos nós para o Estudo 2	60

Tabela 4.9- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS sem reforço $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.	61
Tabela 4.10- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS sem reforço $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$.	63
Tabela 4.11- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS sem reforço $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.	65
Tabela 4.12- Resumo - Estudo 2	67
Tabela 4.13- Valores dos nós para o caso de Estudo 3	68
Tabela 4.14- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS com reforço $U_g=0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$.	69
Tabela 4.15- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS com reforço $U_g=1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$.	71
Tabela 4.16- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS com reforço $U_g=1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.	73
Tabela 4.17- Resumo - Estudo 3	75
Tabela 4.18- Valores dos novos nós reforçados.	75
Tabela 4.19- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.	76
Tabela 4.20- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$.	78
Tabela 4.21- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.	80
Tabela 4.22- Resumo - Estudo 4	81
Tabela 4.23- Valores dos nós com introdução da espuma e capa de PVC.	82
Tabela 4.24- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço/espuma e PVC $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.	83
Tabela 4.25- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço/espuma e PVC $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$.	85
Tabela 4.26- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço/espuma e PVC $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.	87

Tabela 4.27- Resumo - Estudo 5..... 89

ABREVIATURAS

A- Área (m^2)

Ag- área do vidro (m^2)

Af- área da caixilharia (m^2)

lg- perímetro do vidro (m)

Rse- Resistência térmica superficial exterior $m^2.K/W$

Rsi- Resistência térmica superficial interior $m^2.K/W$

PLA- Polímero Ácido Poliático

PVC- Policloreto de vinil

TGI- Technoform glass insulation

U- Coeficiente de transmissão térmica [$W/(m^2.K)$]

Uf- Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia [$W/(m^2.K)$]

Ug- Coeficiente de transmissão térmica do vidro [$W/(m^2.K)$]

Uw- Coeficiente de transmissão térmica da janela [$W/(m^2.K)$]

Ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear [$W/m.K$]

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O presente relatório pretende apresentar o trabalho desenvolvido durante o período do estágio curricular, inserido na unidade curricular DIPRE do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O estágio foi realizado na empresa Ecosteel, com instalações na Rua de Manuel Dias 440, 4495-129 Amorim – Póvoa de Varzim, tendo sido orientado pela Professora Eunice Fontão, do Instituto Superior de Engenharia do Porto e supervisionado pelo Arq. Levi Barros.

A Ecosteel é uma empresa especializada na produção de caixilharia nomeadamente no fabrico de portas, janelas e elementos similares em metal.

O trabalho desenvolvido durante o estágio consistiu no estudo térmico do sistema de janela OTIIMA, através de comparações entre diversos casos de estudo.

Ao longo dos últimos anos temos assistido a uma consciencialização para o tema da construção sustentável, atualmente as questões de sustentabilidade ambiental e de redução de consumo energético são cada vez mais importantes no sector da construção. As janelas e respetiva caixilharia não são exceção e por esse motivo o mercado das caixilhariarias tem evoluído muito de forma a obter características térmicas cada vez mais favoráveis [1].

Através do conhecimento do coeficiente de transmissão térmica das janelas é possível saber se o sistema de janela apresenta um elevado ou fraco desempenho a nível térmico. O trabalho desenvolvido pretende avaliar as características térmicas do sistema de janela OTIIMA através de cinco casos de estudo.

1.2 ENQUADRAMENTO GERAL

A caixilharia é o elemento utilizado para fechar e garantir a operacionalidade dos vãos e contribuir para o desempenho térmico dos edifícios. Apesar de representar uma pequena parte da envolvente do edifício as suas funções são extremamente importantes.

As funções principais da caixilharia são: o controlo da admissão de ar, a estanqueidade à água, a segurança contra intrusos e a regulação da troca de calor entre os compartimentos e o exterior. A caixilharia suporta ainda os painéis de vidro que constituem as áreas envidraçadas, tanto na sua posição fechada como nas suas diversas posições abertas.

As caixilharias podem ser classificadas de acordo com a sua função (janelas ou portas), material utilizado (madeira, alumínio, PVC ou mista) e forma de abertura da folha (batente, basculante, pivotante, entre outras).

A escolha da caixilharia adequada pode traduzir-se numa diminuição do consumo de energia através da redução das perdas térmicas pelos vãos e numa melhoria das condições de bem-estar e conforto higrotérmico [2].

O material escolhido para constituir a caixilharia pode basear-se em critérios económicos, estéticos, de desempenho térmico e acústico e, exigências de durabilidade e manutenção. No mercado nacional existem diversas soluções de caixilharias que se podem aplicar, quer em edifícios novos, quer em edifícios existentes sujeitos a intervenções de reabilitação [2].

A evolução da caixilharia acompanhou a evolução das necessidades da humanidade tendo surgido ao longo dos tempos novos materiais. Os três materiais mais usados na constituição da caixilharia são: a madeira, o alumínio e o PVC [2].

Conforme apresentado na Figura 1.1 a madeira foi o primeiro material a ser usado na constituição da caixilharia, sendo mais tarde usado o alumínio e de seguida o PVC.

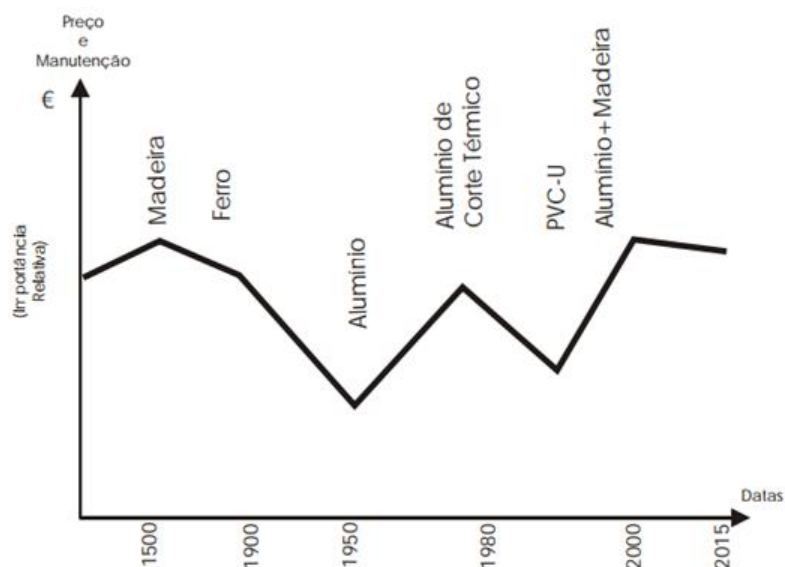


Figura 1.1- Evolução do material usado na caixilharia ao longo do tempo [2]

A indústria da caixilharia procurou ir de encontro às necessidades de conforto térmico dando resposta à necessidade de isolar e ao mesmo tempo substituir a madeira porque esta apesar de ser boa isoladora é um recurso escasso e portanto caro e também pela fraca capacidade para resistir ao ambiente, tendo que estar constantemente a sofrer manutenção como pintura envernizamento ou tratamento contra fungos.

Assim, numa primeira fase surge o alumínio, que podia ser extraído resultando perfis de mais fácil aplicação, armazenamento e movimentação. No entanto as propriedades de isolamento térmico não são boas e o seu preço apesar de inferior ao da madeira não é atrativo.

Os perfis de PVC, uma primeira fase, foram usados para fabrico de persianas, uma vez que era um PVC bastante rígido e só depois se seguiu a aplicação de PVC na caixilharia [2].

Hoje em dia os perfis chegam aos fabricantes de caixilharia em contentores para serem cortados à medida certa e unidos mecanicamente. A industrialização desta atividade obrigou à introdução de maquinaria bastante complexa, existindo centros de maquinaria que funcionam quase em autonomia, com muito pouca intervenção de mão-de-obra [2].

Seguindo uma abordagem temporal a madeira é o material mais tradicional tendo sido o primeiro a ser aplicado em caixilharias. Para aplicação em caixilharias, a madeira deve ser de boa qualidade, deve estar seca, não possuir nós, não ter manchas de bolores nem furos de larvas, e não apresentar rachaduras nem apodrecimentos [2]. Apresenta-se um exemplo de caixilharia de madeira na Figura 1.2.



Figura 1.2- Caixilharia de madeira [3]

A madeira é um material bastante utilizado na construção, contudo, apesar das suas excelentes características, as caixilharias de madeira têm perdido o seu espaço no mercado nacional para as caixilharias de alumínio e PVC. Este facto deve-se ao seu elevado custo quando comparado com os preços praticados pelos seus concorrentes e ao mau desempenho verificado nas caixilharias de madeira em vários edifícios. De facto, não basta ter boas características técnicas, é necessário conhecer as tipologias de madeiras existentes e qual o seu desempenho para se efetuar uma seleção exigência compatibilizando

as características intrínsecas da madeira com as funções e requisitos que deverá cumprir [4]. Desde muito cedo se tem utilizado e constatado as vantagens e desvantagens da madeira. Este material tem por norma uma vida útil de 30 a 60 anos [4].

Em relação às caixilharias metálicas estas podem dividir-se em dois tipos, segundo o material utilizado: o ferro e o alumínio. Contudo a caixilharia de ferro nunca foi muito utilizada no nosso país porque o ferro era caro, difícil de trabalhar e pouca ou nenhuma vantagem tinha comparativamente a outros materiais substitutos [4].

O alumínio por ser um material leve, fácil de trabalhar e resistente, tem aplicação em diversas áreas, inclusive nas caixilharias. Os perfis de alumínio são obtidos através de um processo denominado de extrusão que consiste em fazer passar uma massa de alumínio (biletas), aquecida até aproximadamente 450°C, por uma abertura ou molde que ao arrefecer consolida e origina o perfil. Este processo permite obter uma vasta gama de perfis e formas [4]. Apresenta-se um exemplo de alumínio na Figura 1.3.



Figura 1.3- Caixilharia de alumínio [5]

A capacidade resistente do alumínio permite suportar vidros pesados em caixilharias com uma espessura reduzida, além disso, o alumínio é um material resistente à corrosão e aos agentes atmosféricos e não necessita de uma manutenção regular. Por outro lado, sendo o alumínio um bom condutor de calor é um péssimo isolante térmico e, por esse motivo, é usual as caixilharias de alumínio apresentarem problemas de condensação [4].

No que diz respeito às caixilharias de plástico estas são geralmente constituídas por PVC (policloreto de vinil modificado). Este é um material sintético produzido a partir de petróleo e sal. Este material é caracterizado por ser leve; resistente à ação de fungos, bactérias, insetos e roedores; bom isolante térmico, elétrico e acústico; sólido e resistente a choques e necessita de pouca manutenção [4].

Apresenta-se um exemplo de caixilharia de PVC na Figura 1.4.



Figura 1.4- Caixilharia de PVC [6]

As caixilharias em PVC superam os produtos fabricados em madeira e alumínio. Este tipo de caixilharias possui o menor valor de coeficiente de transmissão térmica, constituindo por isso um melhor isolamento térmico [4].

Existem ainda atualmente no mercado caixilharias que incorporam diferentes tipos de materiais aproveitando assim as vantagens que cada material pode oferecer. Existe o caso da caixilharia composta PVC-Alumínio em que este tipo de caixilharia é constituída por alumínio no revestimento exterior e por PVC no interior [4]. Apresenta-se um exemplo de caixilharia de alumínio-PVC na Figura 1.5.



Figura 1.5- Caixilharia composta por alumínio no exterior e PVC no interior [6]

Encontra-se também o caso da caixilharia composta Madeira-Alumínio em que este tipo de caixilharia é constituída no interior por madeira e no exterior, por alumínio, material resistente, que praticamente não precisa de manutenção. Apresenta-se um exemplo de caixilharia de madeira-Alumínio na Figura 1.6.



Figura 1.6- Caixilharia composta por madeira e alumínio [6]

E existe ainda o caso da caixilharia composta Madeira-PVC, a madeira proporciona um ambiente natural ao espaço interior e o PVC, pelo exterior, garante uma elevada proteção. Apresenta-se um exemplo de caixilharia de madeira- PVC na Figura 1.7.



Figura 1.7- Caixilharia composta por madeira e PVC [6]

Apesar de ser raro ver esta solução existem casos em que a caixilharia é composta pelos três materiais, madeira, alumínio e PVC. Apresenta-se um exemplo de caixilharia de madeira- alumínio-PVC na Figura 1.8.

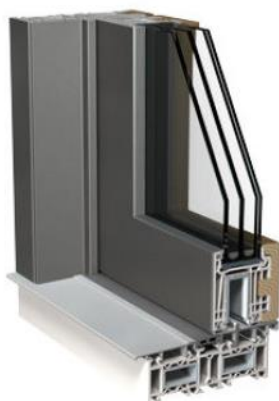


Figura 1.8- Caixilharia composta por madeira, PVC e alumínio [6]

O mercado de caixilharias está em constante evolução, procuram-se sempre novas soluções e apesar de no mercado nacional ainda serem estas três soluções as mais comuns, já existem soluções de caixilharia diferentes destas três típicas anteriormente referidas, ainda que não tenham muita expressão [2].

Um exemplo dos novos materiais a serem desenvolvidos para aplicação nas caixilharias é a fibra de vidro. Estas caixilharias podem ser pintadas, são duráveis e são resistentes às intempéries, necessitando de pouca manutenção. Além disso, a fibra de vidro, tal como o alumínio, é um material muito resistente, podendo fabricar-se perfis muito estreitos e aumentar a área envidraçada [2].

O desempenho térmico destas caixilharias pode vir a ser melhorado se as cavidades que existem no interior destas caixilharias forem preenchidas com um material de condutibilidade reduzida [2].

Contudo esta tecnologia recorrendo à fibra de vidro ainda é muito recente e dispendiosa e por esse motivo a sua aplicação é pouco expressiva, seria necessário um maior número de estudos para comprovar a sua eficiência [2].

É importante referir que uma caixilharia mal escolhida pode tornar um ambiente escuro, sem controlo de iluminação, ruidoso e demasiado quente ou demasiado frio. O primeiro passo para escolher as caixilharias é conhecer as características, vantagens e desvantagens dos materiais utilizados no seu fabrico [2].

1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O relatório de estágio encontra-se dividido em cinco capítulos: introdução, apresentação da empresa e da caixilharia OTIIMA, estudo do comportamento térmico do sistema de janela OTIIMA, aplicação do método de cálculo Edifício Dom Pedro e considerações finais.

No segundo capítulo é feita uma apresentação da empresa e da caixilharia OTIIMA. Pretende-se apresentar a empresa em que decorreu o estágio, a sua estrutura organizacional e o conceito de caixilharia minimalista. Neste capítulo são ainda apresentadas as opções de caixilharia que a empresa possui, bem como as características que as distinguem e as tornam mais ou menos vantajosas em determinadas situações.

No terceiro capítulo apresenta-se o método de cálculo utilizado, faz-se uma breve explicação das normas utilizadas e procede-se à apresentação do programa de cálculo usado na empresa durante o estágio, com um exemplo prático de funcionamento deste.

No capítulo quatro é apresentada uma aplicação do método de cálculo a um projeto denominado Edifício Dom Pedro. Neste capítulo, inicialmente será feita uma apresentação do edifício com posterior

CAPÍTULO 1

apresentação dos resultados obtidos nas diversas situações estudadas relativas ao coeficiente de transmissão térmica do sistema de janela OTIIMA e ainda uma análise crítica de resultados.

Por fim, no capítulo cinco, serão apresentadas as considerações finais, as conclusões dos estudos efetuados e ainda quais os desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO 2

APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DA CAIXILHARIA OTIIMA

2.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O estágio realizou-se na empresa Ecosteel, fundada em 2013 com sede na Rua de Manuel Dias nº440, 4495-129 Amorim. A Ecosteel é especializada na produção de caixilharia nomeadamente no fabrico de portas, janelas e elementos similares em metal.



Figura 2.1- Logótipo da empresa [7]

O elemento que distingue a Ecosteel das empresas convencionais que fabricam caixilharia é o facto da caixilharia da Ecosteel ser minimalista. A caixilharia minimalista define-se pela utilização da menor expressão de alumínio possível e o máximo de pano de vidro sem comprometer as características térmicas e acústicas da caixilharia.

A Ecosteel é a empresa proprietária e a sede da marca comercial de caixilharia minimalista OTIIMA.

As vantagens do uso da caixilharia minimalista comparativamente à tradicional é que esta caixilharia permite uma maior entrada de luz natural e como a vista de alumínio é menor, comparativamente à caixilharia tradicional, é muito escolhida por arquitetos em projetos onde os vãos envidraçados constituem uma grande parte do projeto.

Ao nível da estrutura da empresa, esta é constituída por diversos sectores, nomeadamente a administração, o marketing, o comercial, a orçamentação, as compras, os recursos humanos, a investigação e desenvolvimento, a preparação, a motorização, a contabilidade e a produção.

De forma a facultar uma melhor compreensão da estrutura organizacional da Ecosteel, segue-se na Figura 2.2 o respetivo organograma funcional da Ecosteel.

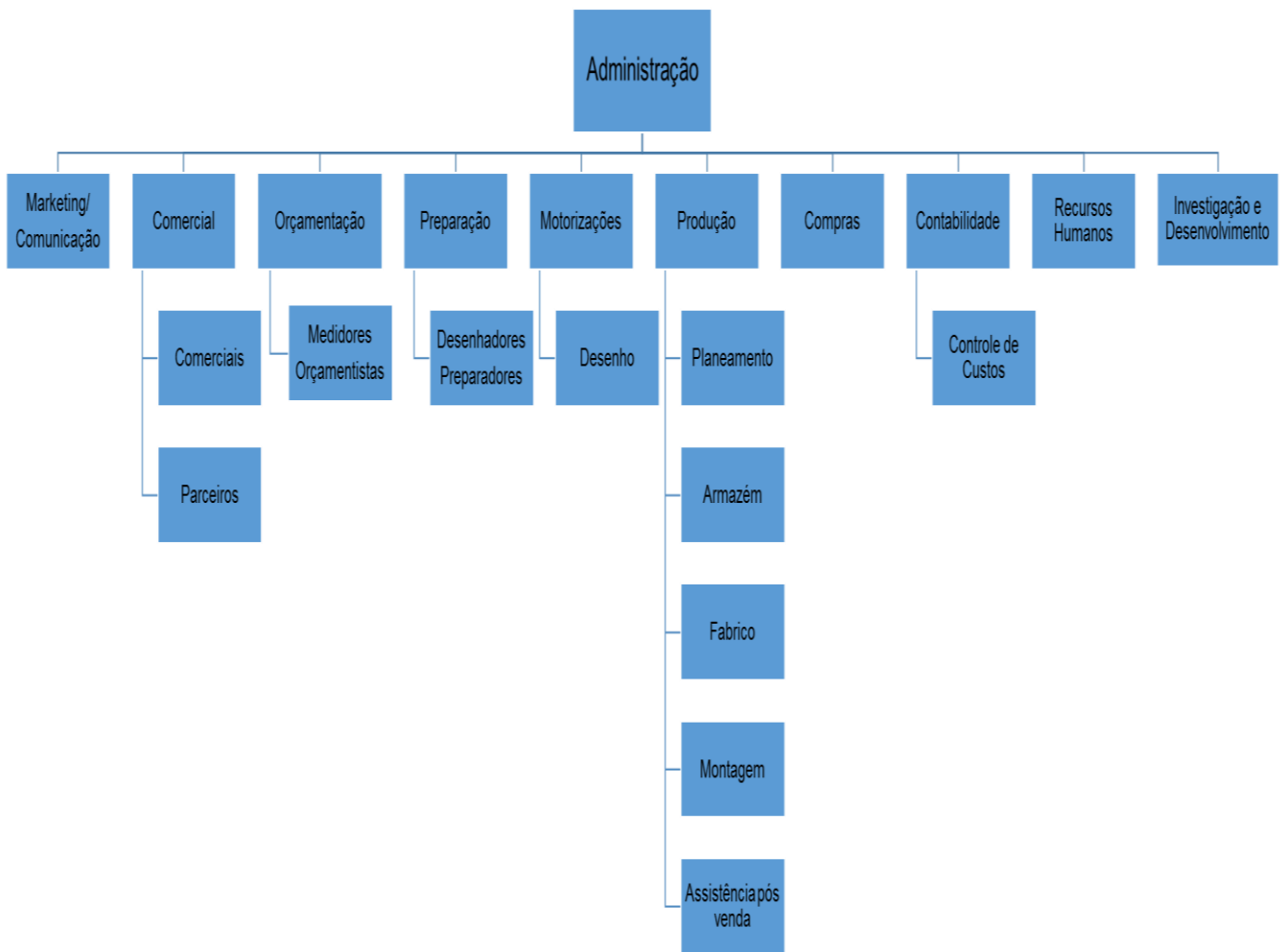


Figura 2.2- Organograma funcional da Ecosteel

O estágio foi realizado no departamento de investigação e desenvolvimento da empresa (I&D).

É no I&D que se criam novas soluções de caixilharia adaptadas às diferentes necessidades de mercado, fazem-se estudos para aperfeiçoar as soluções de caixilharia existente e que se realizam os testes de estanquidade à água da espuma caixilharia.

Neste departamento a empresa possui impressoras 3D Witbox que permitem criar protótipos conforme representado na Figura 2.3.

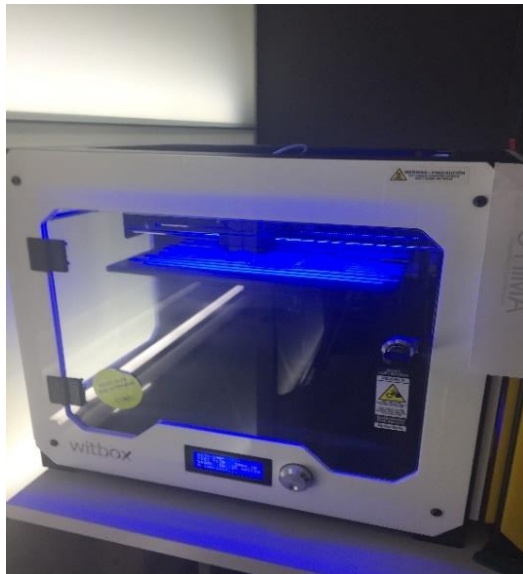


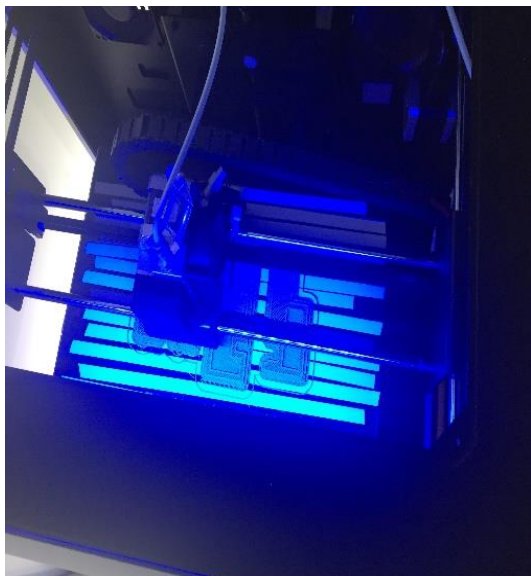
Figura 2.3- Fase inicial da impressão 3D de protótipo para posteriores testes

A impressão funciona através da adição de camadas sobrepostas. Os objetos são impressos camada por camada até ser moldada a forma final. O material usado na impressão é um filamento PLA (Ácido Poliático) geralmente com 1.75mm que pode apresentar diversas cores. O PLA é um polímero biodegradável produzido a partir do ácido láctico fermentado a partir de culturas.

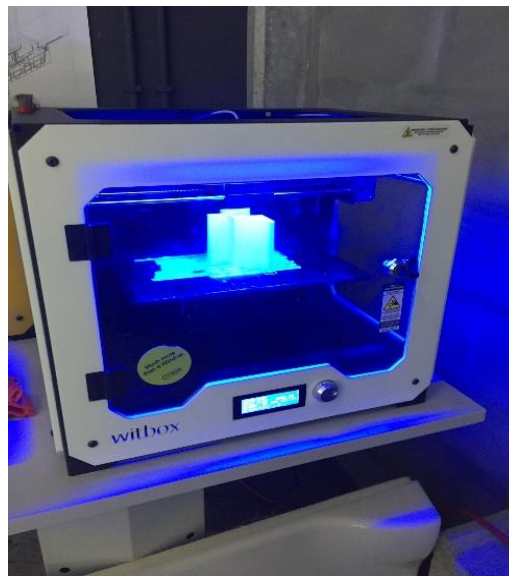


Figura 2.4- Rolos de PLA para posterior impressão 3D [8]

Geralmente a impressão dos protótipos demora várias horas, por vezes mais de 24 horas, até se atingir o resultado pretendido, conforme apresentado na Figura 2.5.



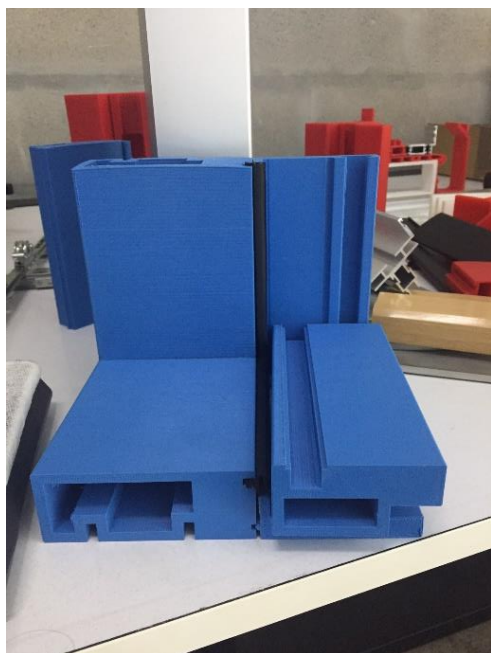
a) Vista de cima no início da impressão 3D de protótipo



b) Fase final da impressão 3D do protótipo

Figura 2.5- Fases da impressão 3D de protótipos

No final do processo de impressão obtêm-se protótipos de variados tamanhos e espessuras com uma aproximação de detalhe elevada aos perfis reais de alumínio, conforme apresentado na Figura 2.6.



a) Exemplo de protótipo



b) Exemplo de protótipo

Figura 2.6- Protótipos após impressão

Após terminado o processo de impressão dos protótipos realizam-se testes, nomeadamente a simulação de protótipo da impressão 3D na caixilharia real, conforme apresentado na Figura 2.7. Neste caso específico trata-se de um protótipo de um puxador.



Figura 2.7- Simulação de protótipo de puxador na caixilharia real

Estes testes permitem ter uma noção aproximada da realidade das dimensões, estética e forma com que o puxador, neste exemplo concreto, vai ficar na caixilharia final, permitindo testar várias soluções e ver qual a ideal para cada caso em particular.

Para além destes testes foram realizados estudos de estanquidade à água da caixilharia real. Estes estudos são práticos não seguindo nenhuma norma concreta, o objetivo é ver se a caixilharia quando exposta à água apresenta bom comportamento.

Os estudos de estanquidade à água da espuma no perfil são realizados inserindo um perfil de caixilharia de alumínio em água de modo a poder observar o seu comportamento ao longo do tempo, geralmente durante um dia, de forma a testar a espuma de isolamento e verificar se esta absorve a água, conforme apresentado na Figura 2.8.

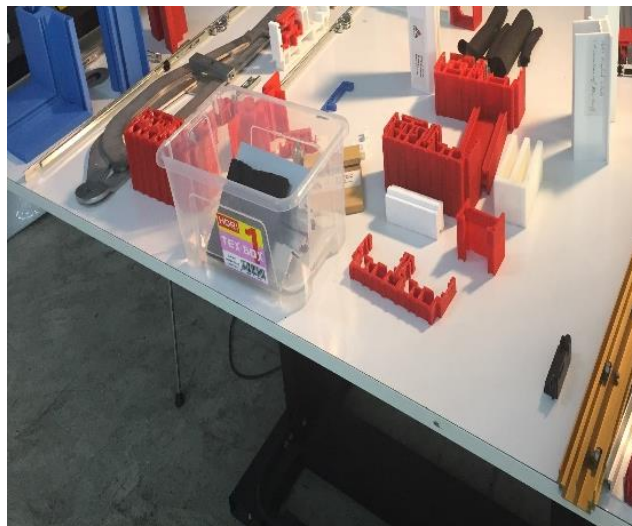


Figura 2.8- Testes de estanquidade à água da caixilharia

Este estudo é efetuado sem recurso a nenhuma norma ou legislação, tendo apenas como base de comparação a experiência relativamente a outras espumas já testadas anteriormente pela empresa recorrendo ao mesmo método.

Neste caso apresentado a espuma não absorveu a água logo as propriedades da espuma eram ideais no que diz respeito à absorção de água. Contudo esta espuma apresentava outra questão relativa ao momento da sua inserção no perfil pois devido ao facto da espuma ser de difícil inserção no perfil conduziu a que se escolhesse outra espuma com iguais propriedades de absorção mas de fácil inserção no perfil.

Este fator condiciona no momento da escolha pois quando a espuma é de difícil inserção no perfil pode ter de ser forçada a entrar no perfil acabando por se danificar e por vezes romper pondo em causa a sua função de não absorver a água.

É também no departamento de investigação e desenvolvimento que se realiza o cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w). As tarefas desenvolvidas durante o período do estágio consistiram essencialmente no cálculo do valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para diferentes projetos.

O conhecimento do coeficiente de transmissão térmica da janela é fundamental para calcular o comportamento térmico do edifício. Existem valores tabelados para este coeficiente, no entanto, as tabelas não contemplam todas as soluções disponíveis no mercado.

Para obter janelas eficientes energeticamente é fundamental que estas apresentem o menor valor de transmissão térmica (U_w), que resulta da conjugação de perfis de caixilharia com um baixo valor de transmissão térmica (U_f) e com um baixo valor de transmissão térmica do vidro (U_g).

O coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) é um valor geralmente solicitado pelos clientes, por norma em projetos de grandes dimensões, para a equipa de engenharia saber o valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para efetuar posteriormente o cálculo térmico do edifício.

Apesar de tal situação não se verificar em Portugal nas obras destinadas a serem realizadas noutros países, nomeadamente: Suíça, Bélgica e Finlândia, a determinação do valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) é sempre um requisito, em fase de projeto, não só em obras de grande dimensão mas também em moradias unifamiliares. A decisão do cliente tem em conta o valor apresentado do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w), caso este seja demasiado alto é motivo desde logo para o cliente recusar a proposta.

O valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) depende consoante o material usado na caixilharia.

Na Figura 2.9 é apresentada uma comparação genérica dos valores de U_w consoante o tipo de material usado na caixilharia.

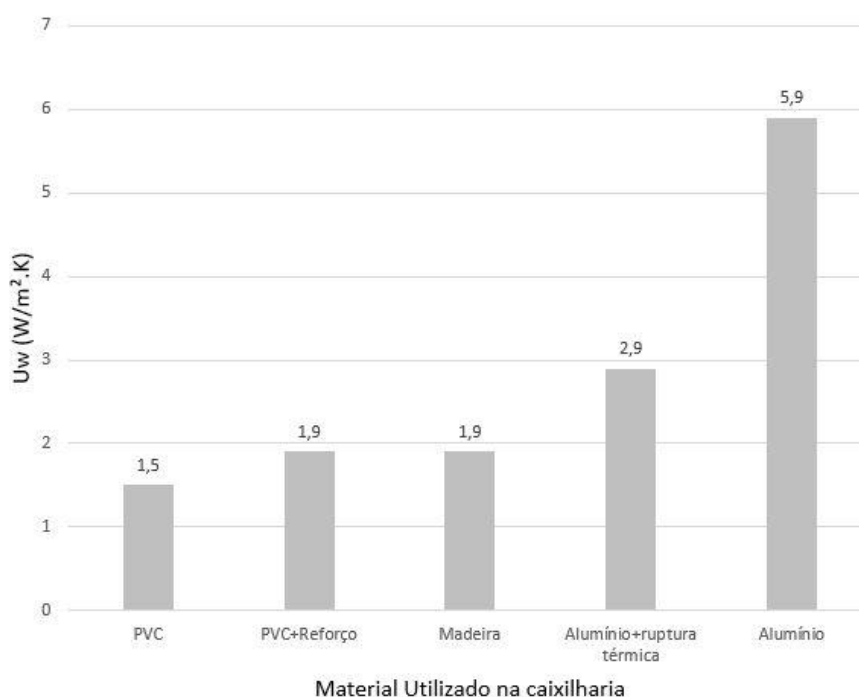


Figura 2.9- Comparação dos valores de U_w para os diversos materiais usados em caixilharias (adaptado de [9])

Constata-se que quando a caixilharia é de alumínio o valor do coeficiente de transmissão térmica da janela é bastante elevado comparativamente ao mesmo valor para a caixilharia de PVC.

A caixilharia em PVC é a que possui o valor mais baixo, constituindo por isso um melhor isolamento térmico.

Uma forma de melhorar os valores do coeficiente de transmissão térmica em caixilharia de alumínio é adicionar corte térmico, nomeadamente através da introdução de poliamidas [9].

2.2 APRESENTAÇÃO DA CAIXILHARIA OTIIMA

A marca OTIIMA foi criada com o intuito de colmatar lacunas existentes no mercado das caixilharias a nível nacional. A marca foi introduzida no mercado em 2014, sendo este um novo sistema de caixilharia minimalista, onde se procura usar o mínimo de expressão de alumínio e o máximo de pano de vidro sem colocar em causa a estabilidade estrutural.



Figura 2.10- Logótipo da marca OTIIMA [7]

De acordo com o fabricante a marca OTIIMA apresenta vantagens técnicas em relação à caixilharia tradicional, sendo estas:

- Permite a utilização de vidros de grandes dimensões, conseguindo fazer painéis de vidro até 36 m².
- O uso de perfis verticais reforçados, com capas centrais de apenas 2 cm de espessura, diminuem a expressão de alumínio da janela.
- O uso de puxadores minimalistas, estes puxadores são praticamente impercetíveis pois foram concebidos para estarem escondidos de modo a evitar ver-se muito alumínio.
- O uso de motorizações nas janelas, o sistema de abertura da folha pode ser motorizado e controlado remotamente.
- As soluções de janelas, a nível de dimensões, podem ser escolhidas pelo cliente, as medidas disponíveis não são standard.
- Possui uma qualidade térmica superior devido ao corte térmico (uso de poliamidas reforçadas) e vidros com características especiais de controlo solar, térmico e acústico.
- O vidro disponível pela marca OTIIMA é simples, duplo ou triplo.

Na Figura 2.11 é apresentado um exemplo de uma janela com caixilharia minimalista OTIIMA.



Figura 2.11- Janela minimalista OTIIMA [9]

Conforme se pode observar a expressão de alumínio é muito menor comparativamente a uma caixilharia tradicional.

Nos últimos anos a Ecosteel aplicou a caixilharia OTIIMA em diversas obras, em mais de 19 países. Apresenta-se na Figura 2.12 dois exemplos de obras relevantes realizadas pela Ecosteel.



a) Casa Otiima Gerês, 2014



b) Villa Qdc, Suíça, 2015

Figura 2.12- Exemplos de obras relevantes realizadas nos últimos anos pela Ecosteel [10]

Estas obras tornaram-se particularmente relevantes devido à exposição que tiveram com o elevado número de artigos publicados em revistas relacionadas com arquitetura e materiais de construção. Tornando-se uma referência para os clientes que visitam a empresa.

A marca OTIIMA possui cinco sistemas que se dividem em quatro séries. As séries dependem simplesmente da espessura de vidro utilizada.

2.2.1 Sistemas OTIIMA

Os sistemas OTIIMA estão divididos em cinco tipologias, respetivamente:

- Classic;
- Plus;
- Comfort;
- Drain;
- Open;

- Sistema Classic

O sistema Classic foi o primeiro a ser criado, consiste num sistema de janela deslizante com soleira rebaxada, ou seja, a soleira não se encontra à cota do pavimento conforme representado na Figura 2.13.

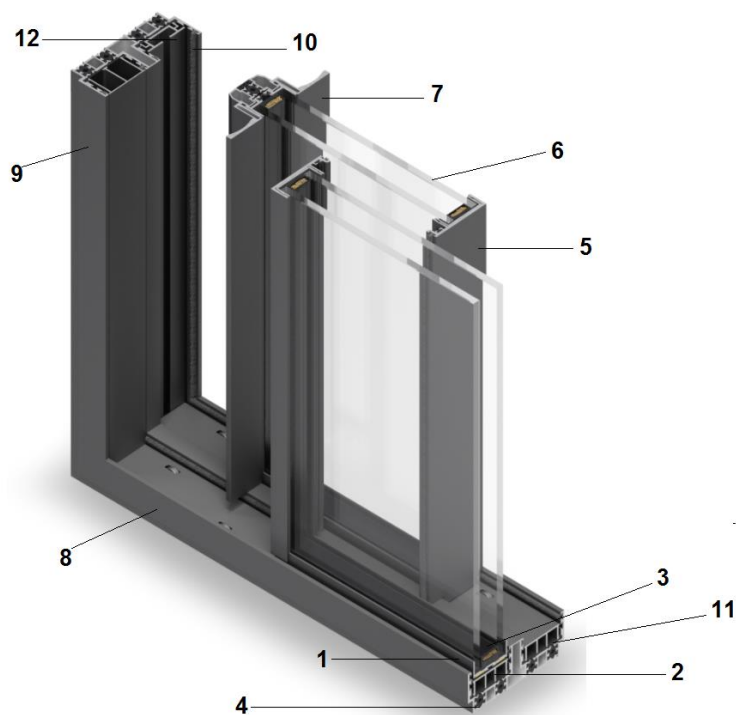


Figura 2.13- Sistema de janela OTIIMA Classic

Na Tabela 2.1 é representada a legenda e respetiva descrição de cada elemento que constitui a caixilharia Classic.

Tabela 2.1- Nome e descrição dos elementos que compõem a caixilharia Classic

Nome do elemento:	Descrição:
1- Capa de vidro em U	Suporta a lâmina de vidro;
2- Capa de rolamentos Classic	Capa baixa usada quando a soleira é rebaixada;
3-Tgi/Espaçador	Barra espaçadora entre lâminas de vidro, flexível e com bom desempenho térmico;
4- Poliamida	A poliamida é um polímero termoplástico utilizado para efetuar o corte térmico;
5- Capa central normal	Capa que divide as duas lâminas de vidro;
6- Lâmina de vidro	A lâmina pode ter várias espessuras;
7- Capa de Puxador	Capa com função de puxador;
8- Rail	Suporte inferior da caixilharia;
9- Capa de aro alta	Capa com perfil alto;
10- Pelúcia	Colocada para vidro deslizar facilmente;
11- PVC	Minimiza as perdas térmicas;
12- Capa de rasgo	Função de encaixe do puxador de forma a poder fechar a porta;

- Sistema Plus

O sistema Plus traduz-se na evolução do sistema Classic, oferecendo não só as potencialidades do Classic mas também, ao contrário da Classic que possui soleira rebaixada, a Plus possui soleira à cota do pavimento, conforme representado na Figura 2.14.

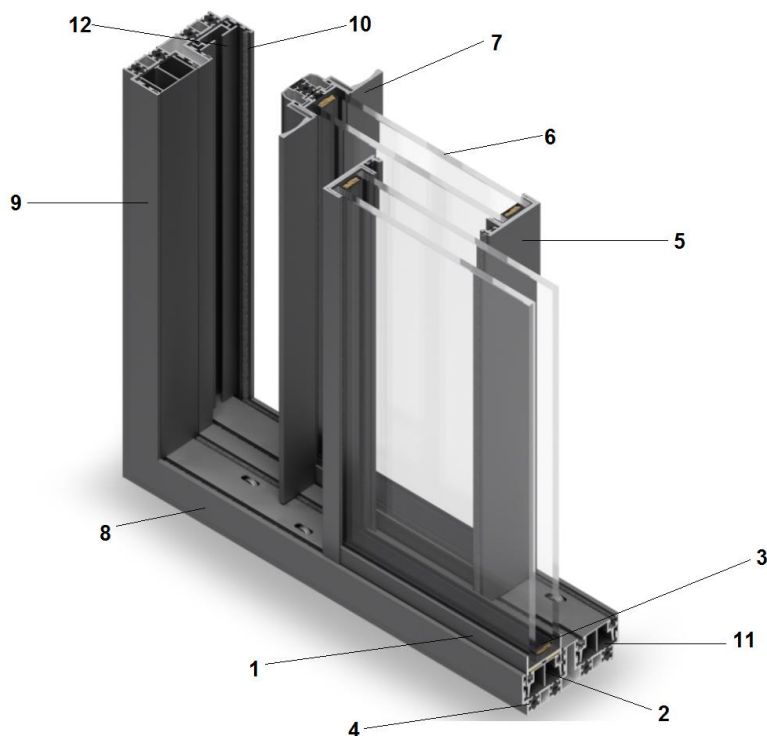


Figura 2.14- Sistema de janela OTIIMA Plus

Na Tabela 2.2 é representada a legenda e respectiva descrição dos elementos que compõem caixilharia Plus. Os elementos que diferem entre a caixilharia Classic e Plus são a capa de vidro e a capa de rolamentos.

Tabela 2.2- Nome e descrição dos elementos que compõem a caixilharia Plus

Nome do elemento:	Descrição:
1- Capa de vidro em H	Função de suporte da lâmina de vidro mais alta do que a capa de vidro em U;
2- Capa de rolamentos Plus	Capa alta permitindo que a soleira seja ao nível do pavimento;
3-Tgi/Espaçador	Barra espaçadora entre lâminas de vidro, flexível e com bom desempenho térmico;
4- Poliamida	A poliamida é um polímero termoplástico utilizado para efetuar o corte térmico;
5- Capa central normal	Capa que divide as duas lâminas de vidro;
6- Lâmina de vidro	A lâmina pode ter várias espessuras;
7- Capa de Puxador	Capa com função de puxador;
8- Rail	Suporte inferior da caixilharia;
9- Capa de aro alto	Capa com perfil alto;
10- Pelúcia	Colocada para vidro deslizar facilmente;
11- PVC	Minimiza as perdas térmicas;
12- Capa de rasgo	Função de encaixe do puxador de forma a poder fechar a porta;

- Sistema Comfort

O sistema Comfort consiste num novo sistema focado principalmente na melhoria em relação ao isolamento térmico.

Nesta janela o corte térmico (realizado através da poliamida) é colocado no rail e a calha de vidro, em vez de ser de alumínio como na Classic e Plus, é de PVC. Como referido anteriormente o PVC é um material com propriedades térmicas elevadas comparando ao alumínio, constituindo por isso um melhor isolamento térmico de todo o sistema quando é usado PVC, conforme representado na Figura. 2.15.

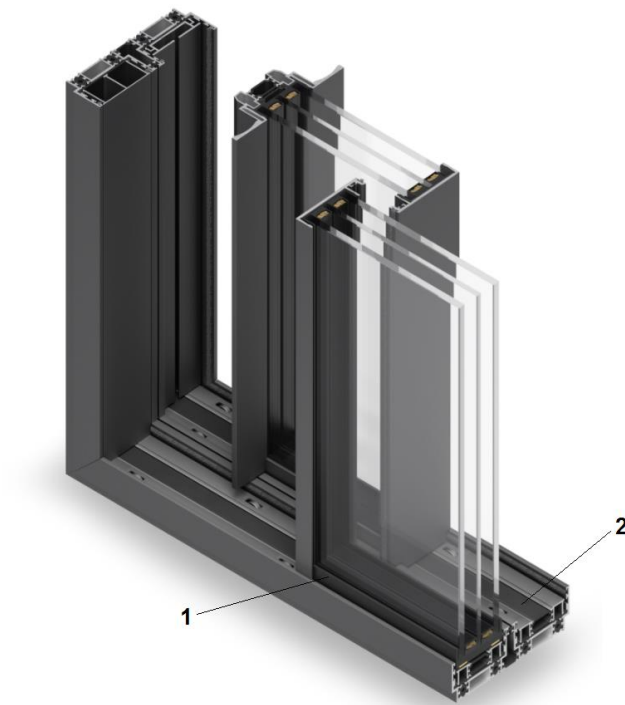


Figura 2.15- Sistema de janela OTIIMA Comfort

Na Tabela 2.3 é representada a legenda e respetivas funções dos elementos que constituem o sistema Comfort.

Tabela 2.3- Nome e descrição dos elementos que constituem o sistema Comfort

Nome do elemento:	Descrição:
1- Capa de vidro em PVC	Maior eficiência a nível térmico em relação à capa de alumínio;
2- Poliamida na extensão do rail	Corte térmico elevado;

- Sistema Drain

O sistema Drain, é usado principalmente em locais de elevada precipitação, este sistema possui um perfil de drenagem que consegue escoar uma elevada quantidade de água em situações de precipitação extrema, para tal deve ser previsto no projeto de arquitetura o espaço necessário para a instalação deste sistema, conforme apresentado na Figura 2.16.

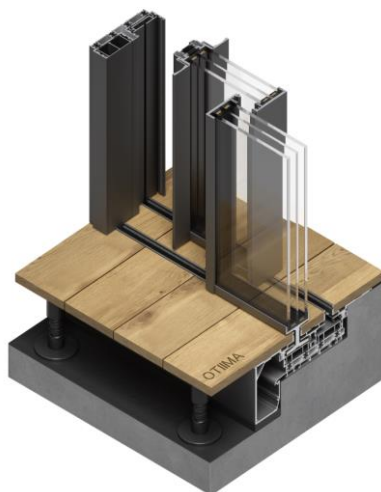


Figura 2.16- Sistema de Janela OTIIMA Drain

- Sistema Open

O último sistema, Open, é o sistema de abrir, janela ou porta, este sistema pode ser associado aos sistemas Classic, Plus e Comfort e está disponível nas mesmas medidas destes sistemas.

O sistema Open pode ser produzido como porta ou janela pivotante, uma folha, duas folhas e oscilobatente. Este sistema tem sempre associados dois perfis, o aro e a folha de batente representados na Figura 2.17.



Figura 2.17- Sistema de janela OTIIMA Open

Na Tabela 2.4 são apresentados os elementos constituintes do sistema Open.

Tabela 2.4- Nome e descrição dos elementos que constituem o sistema Open

Nome do elemento:	Descrição:
1- Aro	Elemento fixo da janela;
2- Folha de Batente	Elemento que permite a abertura da janela;

Os sistemas diferem entre si e alguns apresentam vantagens e desvantagens relativamente a outros. O sistema Plus comparativamente ao sistema Classic apresenta a capa de aro alta, o que permite que a soleira fique ao nível do pavimento. Esta é sem dúvida uma vantagem e algo importante na escolha da caixilharia pois quando se trata de caixilharia na qual se pretende caminhar sobre ela o facto de a soleira ser ao nível do pavimento apresenta um maior conforto para o utilizador do que no caso contrário em que a soleira é rebaixada, tornando-se mais difícil caminhar sobre ela.

No sistema Comfort, apesar de este sistema apresentar muitas vantagens a nível térmico, apresenta uma grande desvantagem a nível estético, devido ao facto de ter muita vista de poliamida de cor preta e de ser bastante difícil vender em janelas que a cor não seja o cinzento pois não é possível pintar a poliamida.

O sistema Drain é ideal para zonas de elevada precipitação devido ao sistema de drenagem de água que possui incorporado, apresenta ainda a vantagem de não ter os perfis de alumínio visíveis à cota de pavimento pelo facto de ser um sistema embutido nos materiais de acabamento, contribuindo para a parte estética. Contudo para a instalação deste sistema é necessário em projeto deixar o espaço necessário para a instalação da caixilharia, o que nem sempre acontece principalmente em reabilitações, a falta deste espaço por vezes inviabiliza a escolha desta solução.

2.2.2 Séries OTIIMA

Os sistemas OTIIMA, atrás apresentados, estão divididos em quatro séries, que se distinguem pela espessura da lâmina de vidro, sendo as espessuras possíveis de usar no painel de vidro constituinte da janela OTIIMA de: 16 mm, 26 mm, 38 mm e 54 mm.

Os sistemas não podem todos ser associados a diferentes séries. Por exemplo o sistema Comfort apenas é fabricado na série 54 mm.

Na Tabela 2.5 são apresentadas as combinações possíveis entre os sistemas e séries OTIIMA.

Tabela 2.5 - Sistemas e respectivas séries OTIIMA

Espessura (mm)	Classic	Plus	Drain	Open	Comfort
16	X				
26		X			
38	X	X	X	X	
54	X	X	X	X	X

- Série 16 mm

A série 16 mm, composta por vidro simples, é geralmente usada para divisões interiores e também como um complemento da série 38 e 54 para redes mosquiteiras e portadas, conforme representado na Figura 2.18.

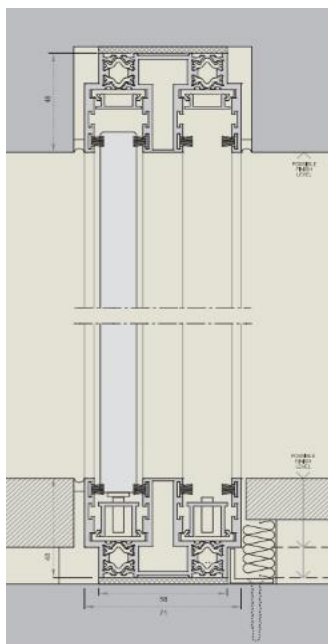
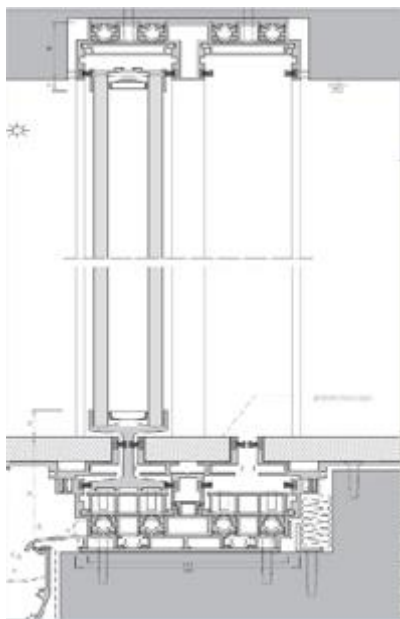


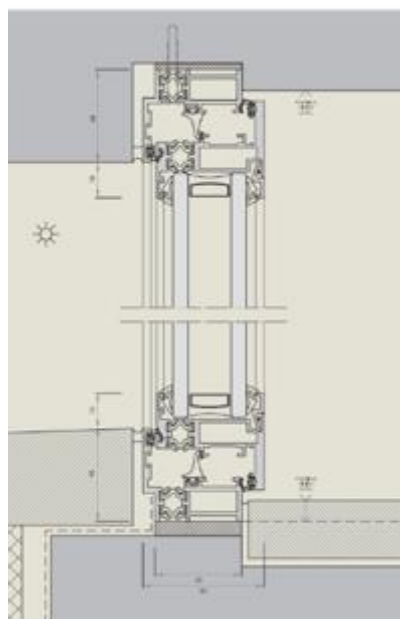
Figura 2.18- Exemplo da série 16 Classic [11]

- Série 26 mm

A série 26 mm é composta por vidro duplo e é usada em países de clima quente pois é a única das séries que não apresenta corte térmico (poliamidas), conforme ilustrado na Figura 2.19.



c) Sistema Drain Série 38 mm

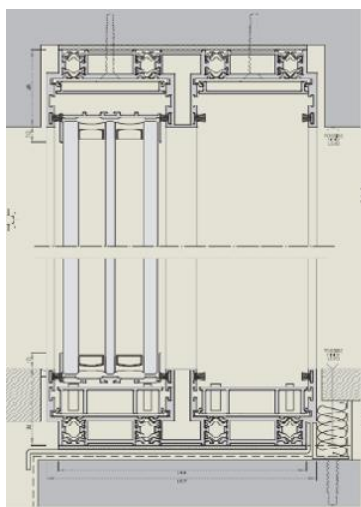


d) Sistema Open Série 38 mm

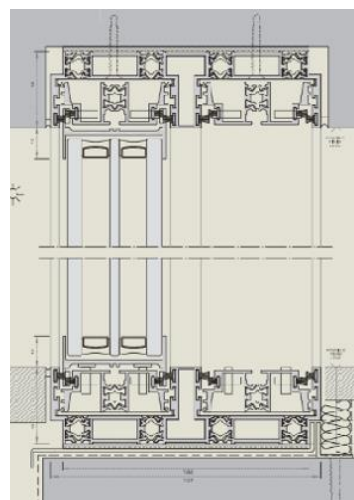
Figura 2.20- Sistemas aplicados na Série 38 mm [11]

- Série 54 mm

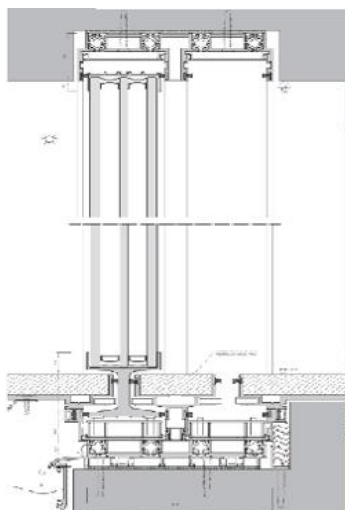
A série 54 é a série que apresenta melhor comportamento térmico, pode ser constituída por vidro duplo ou triplo, mas geralmente o triplo é o mais usado. Esta série apresenta capacidade de ter uma superfície de painéis de vidro até aos 23m², caso se trate de um vidro de 12mx3m consegue atingir superfícies envidraçadas de 36m², sendo que esta série apresenta os melhores resultados a nível acústico e de ensaios ao vento e pode estar associada ao sistema Classic, Plus, Drain, Open e Comfort conforme representado na Figura 2.21.



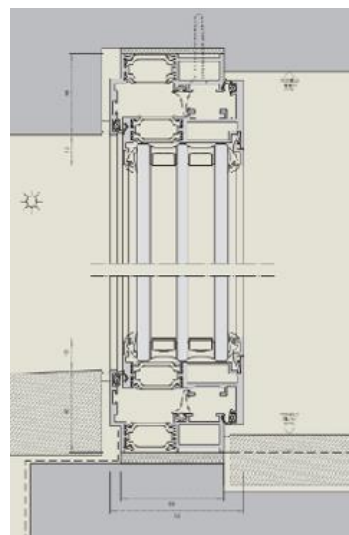
a) Sistema Classic Série 54 mm



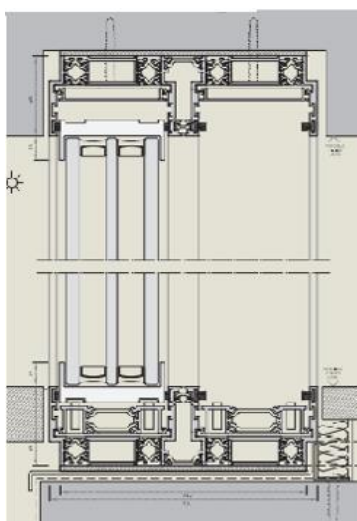
b) Sistema Plus Série 54 mm



c) Sistema Drain Série 54 mm



d) Sistema Open Série 54 mm



e) Sistema Comfort Série 54 mm

Figura 2.21- Sistemas aplicados na Série 54 mm [11]

Geralmente as séries mais usadas são as 38 mm e 54 mm. Isto deve-se ao facto de a maioria das obras realizadas pela empresa serem em países de climas frios tornando-se o isolamento térmico um fator chave na escolha da caixilharia.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE JANELA OTIIMA

3.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados é fundamental para calcular o comportamento térmico do edifício. Existem valores tabelados para este coeficiente, nomeadamente no ITE 50 [12] que é um documento técnico que apresenta valores convencionais de cálculo de condutibilidades térmicas de materiais e resistências térmicas superficiais para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados presentes no ITE 50 referem-se à área total do vão, incluindo a área envidraçada, a caixilharia e o dispositivo de oclusão noturna, se existente. Contudo no ITE 50 são apenas referidos os valores das resistências térmicas de vãos envidraçados mais correntes, ou seja, das soluções e espessuras mais correntes no mercado. Estes valores dos coeficientes de transmissão térmica das janelas presentes no ITE 50 foram determinados através de procedimentos de cálculo com base em normas europeias [1].

Para outros sistemas de janelas, como é o caso do sistema de janela OTIIMA da Ecosteel, que não são os mais correntes do mercado e que o valor do coeficiente de transmissão térmica não está tabelado no ITE 50 é necessário determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica da janela através de métodos de cálculo. Contudo os procedimentos de cálculo presentes nas normas europeias não são de fácil aplicação devido à complexidade das fórmulas utilizadas e da extensão das mesmas.

A utilização de programas de cálculo automático permitiu sistematizar um método de cálculo simplificado e implementá-lo sob a forma de um programa de cálculo automático com uma interface gráfica clara e simples facilitando a determinação do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados. Atualmente existem programas de cálculo que permitem determinar de forma simples e rápida o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados. Os mais usados são os seguintes: BISCO, THERM, Solterm5, AnTherm, CYPETERM, BISTRA, Frame Simulator e Frame Composer.

3.2 APRESENTAÇÃO DOS PROGRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADOS NA ECOSTEEL

A Ecosteel possui licença para o programa de cálculo do coeficiente de transmissão térmica denominado Frame Simulator e Frame Composer.

Os programas foram desenvolvidos pela Dartwin e visam a análise do coeficiente de transmissão térmica da janela, considerando a caixilharia e o envidraçado. Estes programas apresentam uma versão experimental disponível gratuitamente, mas o programa completo tem custo monetário.

Estes programas permitem fazer o cálculo do coeficiente de transmissão térmica em janelas e portas com um grau de complexidade médio. É necessário introduzir dados no programa e de seguida proceder ao cálculo para a obtenção e análise de resultados.

Durante o estágio foi ainda usado o programa de cálculo Callumen II da Saint Gobain na determinação do valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g), este software não tem custo monetário, está disponível gratuitamente no site da Saint Gobain.

O programa de cálculo Callumen II permite obter as características técnicas das várias composições de vidros possíveis com os produtos Saint-Gobain Glass, sendo que depois de escolhida a combinação de vidros pretendida o programa automaticamente calcula o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) para essa determinada combinação.

3.3 NORMAS E PROGRAMAS DE CÁLCULO

Os programas de cálculo Frame Simulator e Frame Composer usados com vista à determinação do coeficiente de transmissão térmica do sistema de janela operam de acordo com as normas europeias ISO 10077-1:2006 "Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General" e ISO 10077-2:2012 "Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames".

A norma ISO 10077 divide-se em duas partes. Na primeira parte da norma, ISO 10077-1, é descrito o método geral de cálculo do coeficiente de transmissão térmica de janelas e portas (U_w). Nesta parte da norma são apresentadas as principais equações de cálculo e valores tabelados para vãos envidraçados com diferentes constituintes.

Em janelas e portas simples o coeficiente de transmissão térmica (U_w) deve ser calculado de acordo com a equação (3.1):

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (3.1)$$

Onde:

A_g — é a área do vidro;

A_f — é a área da caixilharia;

l_g — é o perímetro do vidro;

U_g — é a transmissão térmica do vidro;

U_f — é a transmissão térmica da caixilharia;

Ψ_g — é a transmissão térmica linear;

A transmissão térmica linear Ψ_g ocorre devido à combinação dos efeitos térmicos do vidro, do espaçamento entre vidros e da caixilharia. No caso de um vidro simples com apenas uma lâmina de vidro a transmissão térmica linear deve ser igualada a zero pois não há efeito do espaçamento entre vidros como no caso de um vidro duplo.

Na segunda parte da norma, ISO 10077-2, é especificado um método que fornece dados de entrada de referência para o cálculo da transmissão térmica da caixilharia (U_f).

Existem diferentes fórmulas de cálculo para os diferentes materiais que compõem a caixilharia, como o metal ou a madeira. É também nesta segunda parte da norma que é explicado o método de cálculo para o coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ_g) da interação entre a caixilharia, o vidro e o perfil intercalar. Este cálculo é realizado através de um método numérico bidimensional, sendo geralmente o método dos elementos finitos ou o das diferenças finitas. Define os dados de entrada para o cálculo da transmissão térmica através das caixilharias e através da ligação entre a caixilharia e o vidro ou painel. Para a aplicação deste cálculo complexo é necessário o recurso a ferramentas informáticas que sejam capazes de realizar uma análise térmica bidimensional.

Na Ecosteel a caixilharia utilizada é constituída por perfis de alumínio. Na segunda parte da norma é definido o método para o cálculo do coeficiente de transmissão térmico da caixilharia de metal (U_f). Todos os valores nas tabelas e gráficos presentes na norma são baseados num número elevado de medições bem como em valores determinados usando métodos numéricos de cálculo. As trocas térmicas são favorecidas quando é utilizada caixilharia metálica pois os metais são condutores de calor. De forma a colmatar este problema que se apresentava aquando do uso desta caixilharia, foram desenvolvidas caixilharias com corte térmico.

Este tipo de caixilharia é constituído por dois perfis separados por elementos de corte térmico (ex: poliamida). Esses elementos separam por completo o perfil em contacto com a zona fria do perfil em contacto com a zona quente. Desta forma consegue-se reduzir consideravelmente o fluxo térmico através da caixilharia.

A complexidade da geometria, o material e as cavidades contidas nos perfis influenciam consideravelmente a transmissão térmica da caixilharia e tornam o seu valor difícil de estimar.

É apresentado na norma um método aplicável a caixilhariias metálicas sem corte térmico e com corte térmico.

A transmissão térmica da caixilharia metálica é obtida pela expressão seguinte [13]:

$$U_f = \frac{1}{R_{si} \cdot \frac{A_{f,i}}{A_{d,i}} + R_f + R_{se} \cdot \frac{A_{f,e}}{A_{d,e}}} \quad (3.2)$$

Sendo:

R_{si} — Resistência térmica superficial interior (0,13 m².K/W);

R_{se} — Resistência térmica superficial exterior (0,04 m².K/W);

$A_{f,i}$ — área interior da caixilharia;

$A_{f,e}$ — área exterior da caixilharia;

$A_{d,i}$ — área de desenvolvimento interno da caixilharia;

$A_{d,e}$ — área de desenvolvimento externo da caixilharia;

R_f — é a resistência da caixilharia é dado por,

$$R_f = \frac{1}{U_{f0}} - 0.17 \quad (3.3)$$

Em que,

U_{f0} — é a transmissão térmica em W/ m².K, calculado como se as áreas de desenvolvimento fossem iguais às áreas projetadas;

$$U_{f0} = \frac{1}{0.13 + R_f + 0.04} - 0.17 \quad (3.4)$$

O valor de U_{f0} depende da menor distância entre os perfis opostos de alumínio (d), na secção do material de corte térmico. U_{f0} pode-se retirar por gráfico, através da linha a cheio, da Figura 3.1.

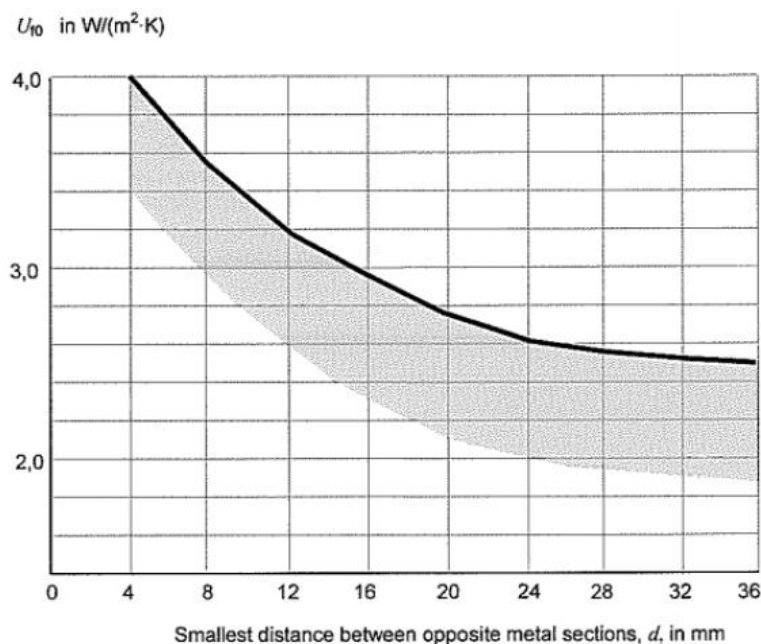


Figura 3.1- Valor da transmissão térmica para caixilharias com corte térmico [13]

Para caixilharias sem corte térmico, $U_{f0} = 5,9 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Contudo este método está sujeito às seguintes restrições:

- Materiais de corte térmico com condutibilidade limitada a $0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W}/(\text{m.K})$.

O somatório das espessuras dos cortes térmicos devem satisfazer a seguinte condição [13]:

$$\sum_j b_j \leq 0.2 \cdot b_f \quad (3.5)$$

Sendo,

b_j – espessura do corte térmico j;

b_f – espessura da caixilharia.

- Materiais de corte térmico com condutibilidade limitada a $0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W}/(\text{m.K})$. O somatório das espessuras dos cortes térmicos devem satisfazer a seguinte condição:

$$\sum_j b_j \leq 0.3 \cdot b_f \quad (3.6)$$

O coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) descreve as trocas de calor adicionais devido à interação entre o vidro, a caixilharia e o perfil intercalar, o perfil intercalar que é o elemento que separa as folhas de vidro e geralmente contribui para a redução da transmissão térmica do envidraçado (TGI).

Na norma encontram-se tabelados valores do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) para combinações usuais de caixilharia, vidro e perfil intercalar. O coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) de perfis intercalares não tabelados na norma pode ser determinado através de métodos numéricos.

Para o vidro simples $\Psi = 0$.

Nos perfis intercalares metálicos correntes o valor do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) pode ser obtido através da norma, conforme apresentado na Figura 3.2.

Tipo de caixilharia	Tipo de vidro	
	Duplo ou triplo Sem película Low-E Preenchido com ar ou gás	Duplo ou triplo com película Low-E (numa folha, para vidro duplo) (duas folhas, para vidro triplo) Preenchido com ar ou gás
Madeira / PVC	0,06	0,08
Metálica c/ corte térmico	0,08	0,11
Metálica s/ corte térmico	0,02	0,05

Figura 3.2- Valores do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) para perfis intercalares metálicos (adaptado de [13])

Com o desenvolvimento de novos materiais e novas técnicas construtivas, apareceram no mercado os perfis intercalares com desempenho térmico melhorado, assim designados por conduzirem menos calor do que os perfis intercalares convencionais. Geralmente, este tipo de perfis possui um corte térmico ou é feito de um material com uma condutibilidade térmica baixa.

Para efeitos de aplicação da norma, um perfil intercalar é considerado como sendo de desempenho térmico melhorado, se verificar a seguinte condição:

$$\Sigma(dx\lambda) \leq 0,007 W / K \tag{3.7}$$

Sendo,

d – espessura da parede do perfil intercalar, em m;

λ – condutibilidade térmica da parede do perfil intercalar em W/(m.K);

Na norma são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) para os perfis intercalares de desempenho melhorado.

Os valores foram determinados para combinações usuais de tipos de caixilharia e de vidro, conforme se pode observar na Figura 3.3.

Tipo de caixilharia	Tipo de vidro	
	Duplo ou triplo sem película Low-E preenchido com ar ou gás	Duplo ou triplo com película Low-E (numa folha, para vidro duplo) (duas folhas, para vidro triplo preenchido com ar ou gás)
Madeira / PVC	0,05	0,06
Metálica c/ corte térmico	0,06	0,08
Metálica s/ corte térmico	0,01	0,04

Figura 3.3- Valores do coeficiente de transmissão térmica linear (ψ) para perfis intercalares de desempenho térmico melhorado (adaptado de [13]);

Em relação à legislação utilizada pelo programa de cálculo Callumen II este opera segundo as normas EN410-2011 “Glass in building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing” e EN673-2011 “Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value). Calculation method”.

3.4 APLICAÇÃO DOS PROGRAMAS DE CÁLCULO

A seguir é apresentado um estudo e cálculo do coeficiente de transmissão térmica de uma janela (U_w).

Os parâmetros U_f (coeficiente de transmissão térmica da caixilharia), o coeficiente de transmissão térmica linear (ψ) e U_w (coeficiente de transmissão térmica da janela) são determinados pelo programa de cálculo Frame Simulator e Frame Composer, de acordo com os procedimentos recomendados na norma ISO 10077-2 (2012) e ISO 10077-1 (2006).

Foram consideradas as seguintes resistências superficiais $0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ e $0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ para externa e interna, conforme indicado na norma.

O perfil intercalar (TGI) usado na janela foi um modelo da Technoform e este é constituído por um perfil de aço inoxidável e polipropileno sólido.

O valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) usado na janela de exemplo é de $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. As características do vidro usado são apresentadas na Tabela 3.1 e foram determinadas pelo programa de cálculo Callumen II da Saint Gobain, encontrando-se a folha de cálculo no Anexo I.

Tabela 3.1- Composição do vidro usado na simulação

Espessura do vidro (mm)	Composição do vidro		Ug (W/(m ² .°C))
54 (vidro triplo)	1º Vidro	PLANILUX10,00mm KRIPTON 90% 12,00mm	0.9
	2º Vidro	PLANICLEAR 10,00mm PLANITHERM ONE II	
	3º Vidro	Argon 90% 12,00mm PLANILUX 10,00mm	

Quanto menor o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (Ug) mais caro o vidro se torna, conforme se pode observar na Figura 3.4, pois para o vidro ter um coeficiente de transmissão térmica baixo possui capas com tratamentos especiais para se tornarem baixo emissivos (low-e). Estas capas tem como função refletir a energia por radiação gerada no interior da habitação permitindo no entanto a entrada de energia através da radiação exterior [14].

Ug	g	TL (%)	Preço m ²
2.7	0.77	81	22 €
1.4	0.61	79	35 €

Figura 3.4- Variação do preço de vidro com diferente Ug [14]

O próximo passo, antes de se iniciar o cálculo através do programa de cálculo Frame Simulator é proceder a um trabalho de preparação em Autocad para posterior introdução de dados no software.

A janela em estudo é uma janela com duas folhas de correr e encontra-se representada em planta na Figura 3.5.

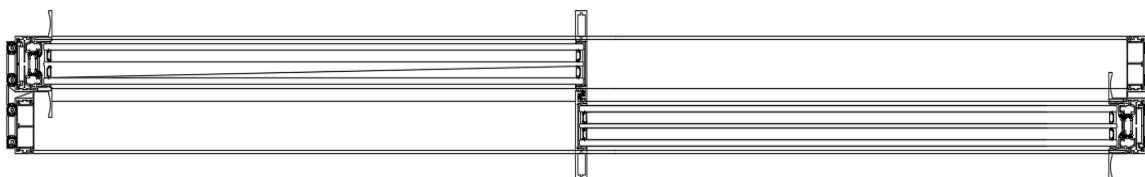


Figura 3.5- Janela em estudo vista em planta

Numa primeira fase, é necessário identificar os nós da janela. Tratam-se por nós todas as partes da caixilharia que compõem a janela.

Os nós podem ser verticais e horizontais, é necessário decompô-los para introdução individual no programa de cálculo. É necessário separar os nós, verticais e horizontais porque o coeficiente de transmissão térmico da caixilharia (U_f) varia de nó para nó.

A Ecosteel possui uma biblioteca de nós em Autocad e esta biblioteca está em constante atualização. Por vezes os nós necessitam ser alterados, acrescentando ou retirando poliamidas (corte térmico) por exemplo, ou substituindo o perfil intercalar (TGI) para outro de uma marca diferente.

Estipulou-se na empresa que a cada nó corresponde um determinado número e que esse número será sempre antecedido pela letra v, este aspeto é meramente para organização dentro da empresa mas foi também adotado na elaboração do presente relatório. Existe ainda a regra de primeiro se numerarem os nós horizontais e só depois os verticais, este critério existe apenas por uma questão de organização.

Caso se trate de uma janela simples esta é composta por quatro nós, dois verticais e dois horizontais. Neste caso concreto do exemplo trata-se de uma janela dupla de correr, a janela é constituída por sete nós, três horizontais e quatro verticais, conforme representado na Figura 3.6.

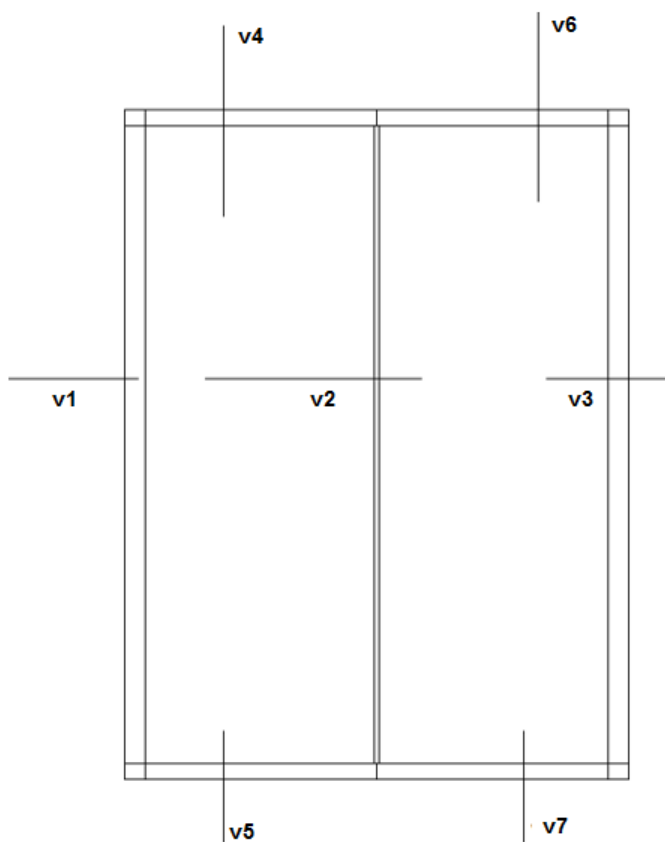
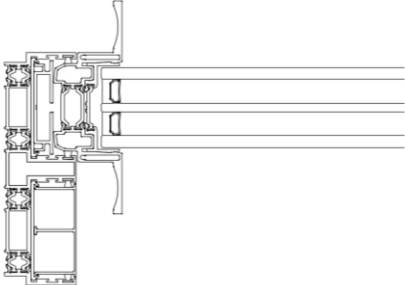
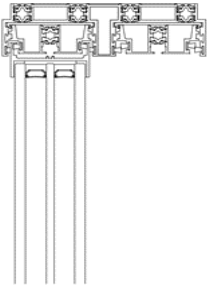
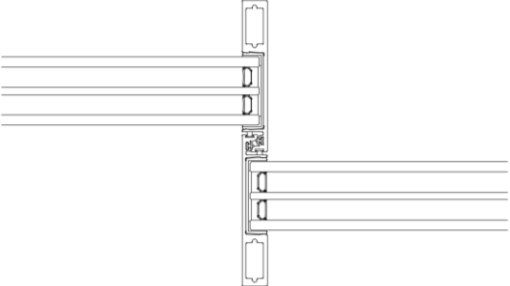
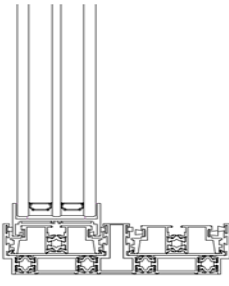
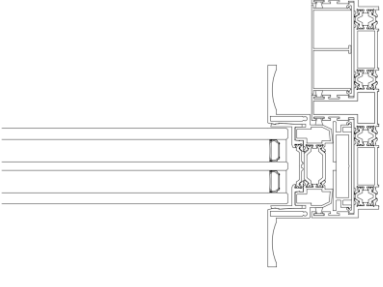
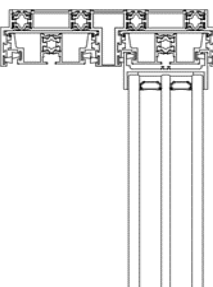


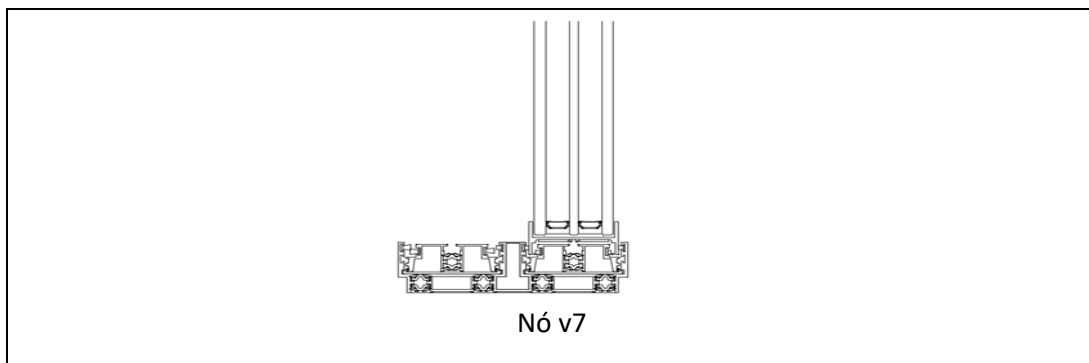
Figura 3.6- Alçado da Janela com os respetivos nós que a constituem

Os nós que constituem as diferentes folhas da janela, exterior e interior, vão ter comportamentos diferentes a nível do coeficiente de transmissão térmica, daí ser necessário haver esta separação. Por vezes o nó inferior não tem o mesmo número de poliamidas (corte térmico) do nó superior e é também esse o motivo pelo qual existem dois nós verticais em cada folha.

Os diferentes nós que compõem a janela em estudo são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2- Tabela dos nós que compõe a janela

Nós Horizontais	Nós verticais
 <p data-bbox="475 1070 549 1104">Nó v1</p>	 <p data-bbox="1023 1061 1096 1095">Nó v4</p>
 <p data-bbox="475 1480 549 1514">Nó v2</p>	 <p data-bbox="1018 1471 1107 1505">Nó v5</p>
 <p data-bbox="475 1951 549 1984">Nó v3</p>	 <p data-bbox="1023 1951 1096 1984">Nó v6</p>



Após este trabalho de preparação em Autocad segue-se a parte do cálculo.

O primeiro programa de cálculo a ser usado é o Frame Simulator, para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f) e também para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ);

As temperaturas consideradas no bordo foram de 20°C no interior e 0°C no exterior.

Cada nó deve ser calculado individualmente, de forma a obter o valor do coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f) e também o valor do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ).

É de seguida apresentado o processo de cálculo para o nó v1, este processo é semelhante nos restantes nós que compõem a janela.

- Processo de cálculo no Frame Simulator

No menu principal do programa de cálculo Frame Simulator surgem várias opções nas quais é possível escolher qual o tipo de nó que se está a usar, nomeadamente se este é horizontal ou vertical conforme apresentado na Figura 3.7.

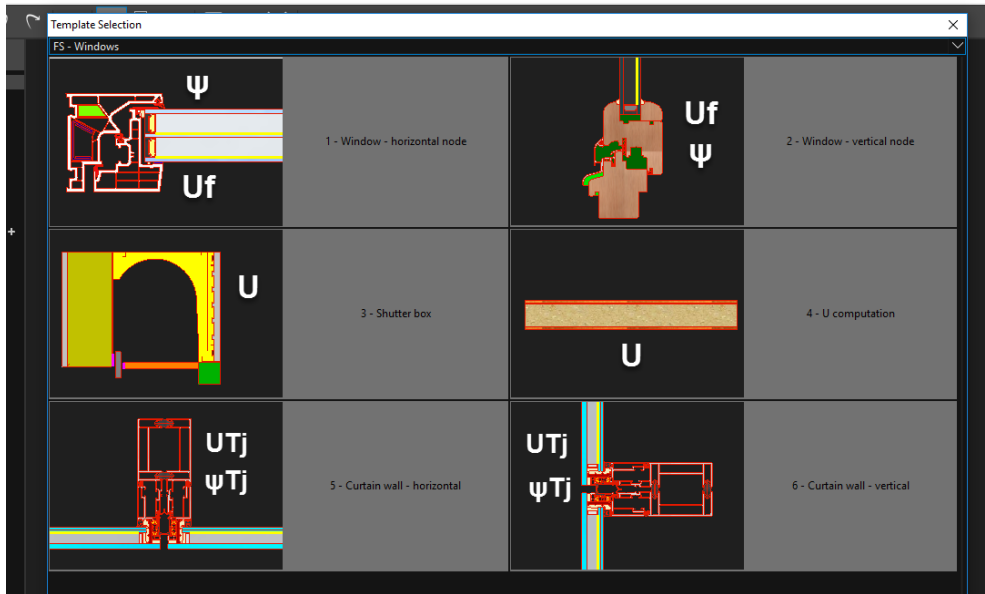


Figura 3.7- Menu principal do Frame Simulator

Neste caso, o nó v1 é um nó horizontal, por esse motivo é escolhida a primeira opção do menu, importando o nó do ficheiro de Autocad.

Após importação do nó é necessário escolher qual o fluxo de calor correspondente ao nó. O fluxo a vermelho representa a caixilharia que fica em contacto com o interior do edifício onde será colocada e a azul a caixilharia que fica em contacto com o exterior, representado na Figura 3.8.

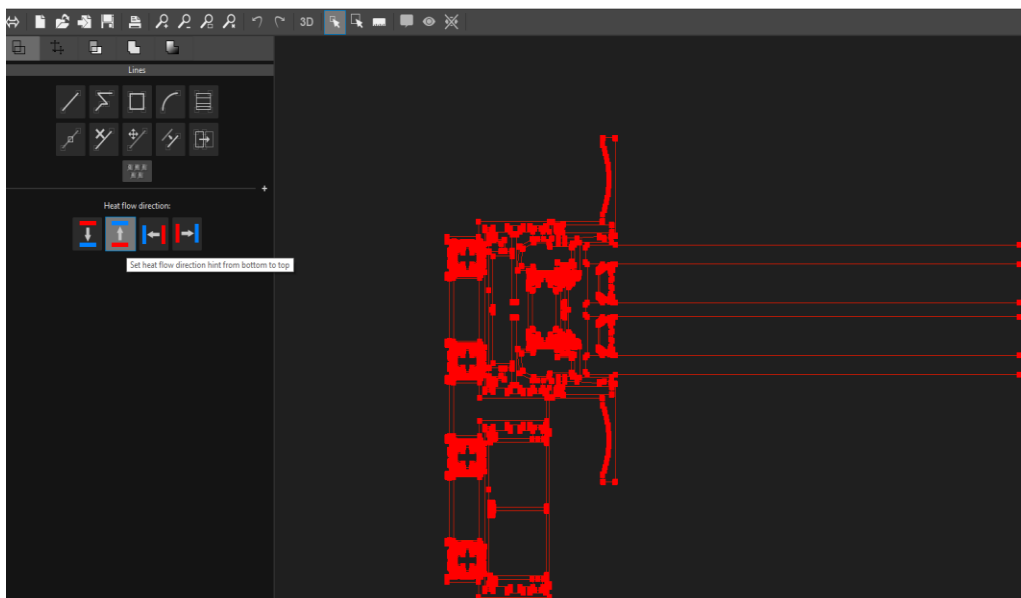


Figura 3.8- Escolha do fluxo de calor correspondente ao nó

De seguida, no segundo separador da barra, designado Elementos, efetua-se o isolamento do painel de vidro, representado na Figura 3.9.

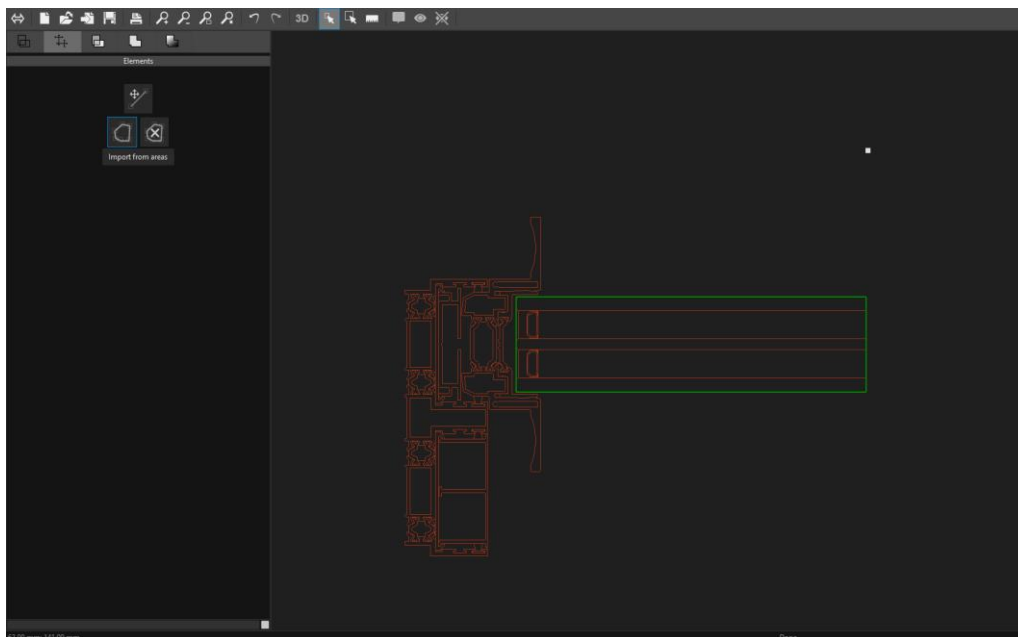


Figura 3.9- Isolamento do painel de vidro

No terceiro separador, denominado, Áreas, é possível ter acesso a uma biblioteca com diversos materiais e é neste passo que se definem os materiais que compõem a caixilharia e qual a respetiva condutividade térmica.

Esta biblioteca do programa de cálculo apresenta os mesmos materiais presentes na lista da norma ISO 10077-2.

Nesta fase, pode-se encontrar no lado direito do ecrã o nome, condutividade, emissividade e qual a cor que representa o material, conforme representado na Figura 3.10.

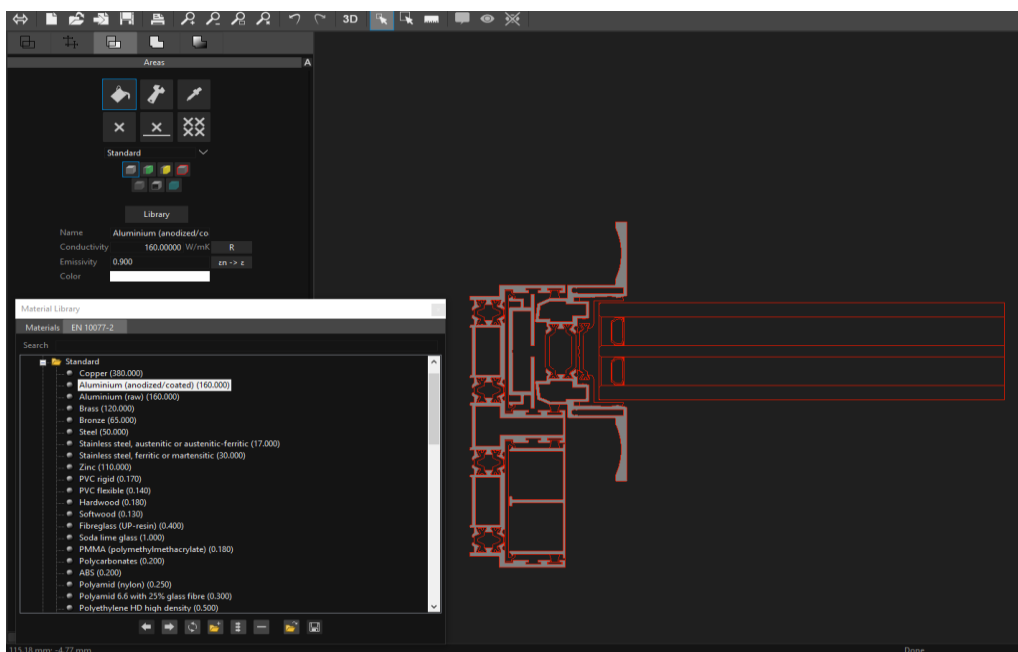


Figura 3.10- Exemplo de aplicação do material alumínio no programa de cálculo

CAPÍTULO 3

É necessário aplicar todos os materiais, incluindo o vidro e o gás que constitui a caixa-de-ar e deixar as cavidades que não possuem material por preencher, conforme apresentado na Figura 3.11.

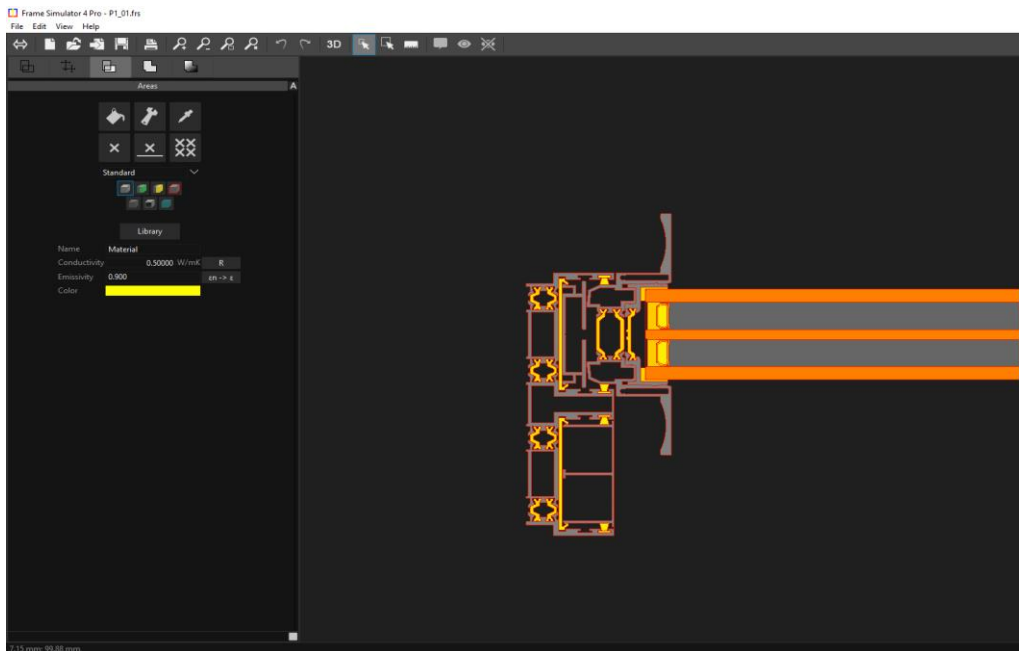


Figura 3.11- Nó final com todos os materiais aplicados

Todos os materiais usados e respetiva condutividade térmica estão listados no Anexo A da norma ISO 10077-2: 2012.

Os materiais que constituem a caixilharia são apresentados na Tabela 3.3 e os materiais que constituem o vidro e o espaçador são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.3- Lista de materiais que constituem a caixilharia e respetiva condutividade térmica (adaptado de [15])

Área	Material	Condutividade térmica (W/(m·K))
Caixilharia	ALUMINIUM	160
	POLYAMIDE 6.6 with 25% glass fibre	0,30
	RIGID PVC	0,17
	EPDM	0,25
	EPS	0,034

Tabela 3.4- Lista de materiais que constituem o vidro e o espaçador e respetiva condutividade térmica (adaptado de [15])

Área	Material	Condutividade térmica (W/(m·K))
Vidro e TGI	BUTYLENE	0,24
	POLYPROPYLENE SOLID	0,22
	GLASS	1,00
	SILICA	0,13
	STAINLESS STEEL	17

Para se efetuar o cálculo final do coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f) e do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) é necessário definir as condições fronteira. Neste passo primeiro define-se a linha adiabática, linha que rodeia todo o nó, e de seguida é necessário identificar qual a parte interior e exterior do nó, conforme podemos observar na figura 3.12. A parte interior é representada a vermelho e a exterior a azul. Depois de definidas as condições fronteira o programa de cálculo automaticamente representa as cavidades a cor verde, estas correspondem aos espaços de ar não ventilados que compõem o nó.

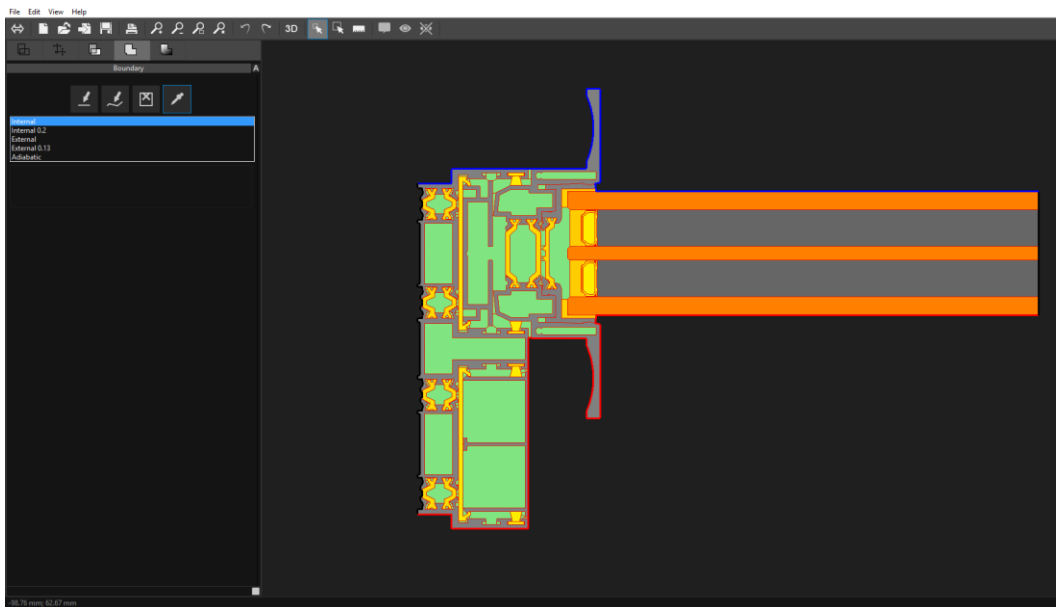


Figura 3.12- Definição das condições fronteira

O nó é de seguida calculado, processo que pode ser demorado.

O resultado obtido, apresentado na Figura 3.13, é para o coeficiente de transmissão linear é de $\Psi = 0.0225$ W/m.K e para o coeficiente de transmissão térmica da caixilharia $U_f = 5.5442$ W/m²K;

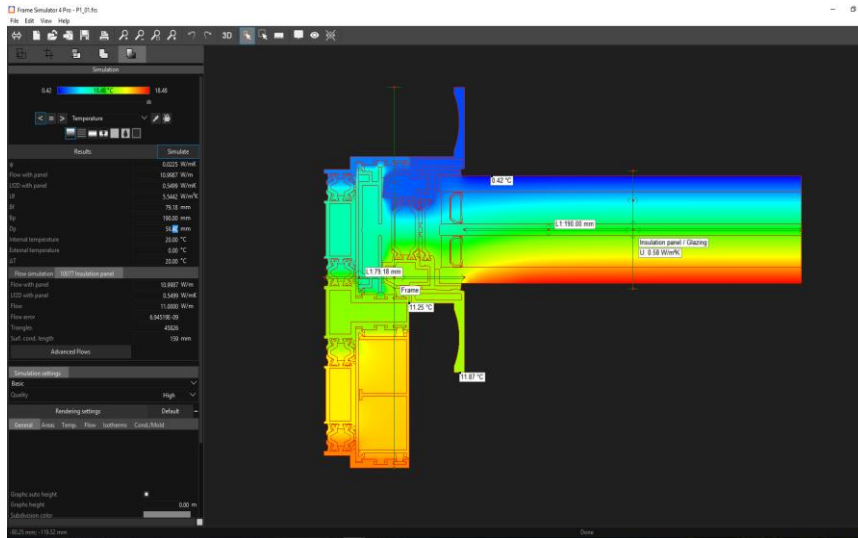


Figura 3.13- Resultados finais do nó V1 obtidos no Frame Simulator

Este processo de cálculo foi repetido para todos os nós, verticais e horizontais, que compõem a janela, os valores finais dos diferentes nós são apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5- Valores de U_f e Ψ dos nós que compõem a janela

Nós	U_f (W/m ² K)	Ψ (W/mK)
v1	5.5442	0.0225
v2	20.4426	0.1366
v3	5.2768	0.0259
v4	5.0361	0.0596
v5	5.0283	0.0592
v6	5.5430	0.0593
v7	5.0861	0.0591

Após obtenção dos valores do coeficiente de transmissão linear (Ψ) e do coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f) é necessário saber o valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w). Este valor é obtido através do programa de cálculo Frame Composer.

Neste programa de cálculo introduz-se o alçado da janela que foi desenhado em Autocad durante a preparação de dados para introdução no Frame Composer, representado na Figura 3.14.

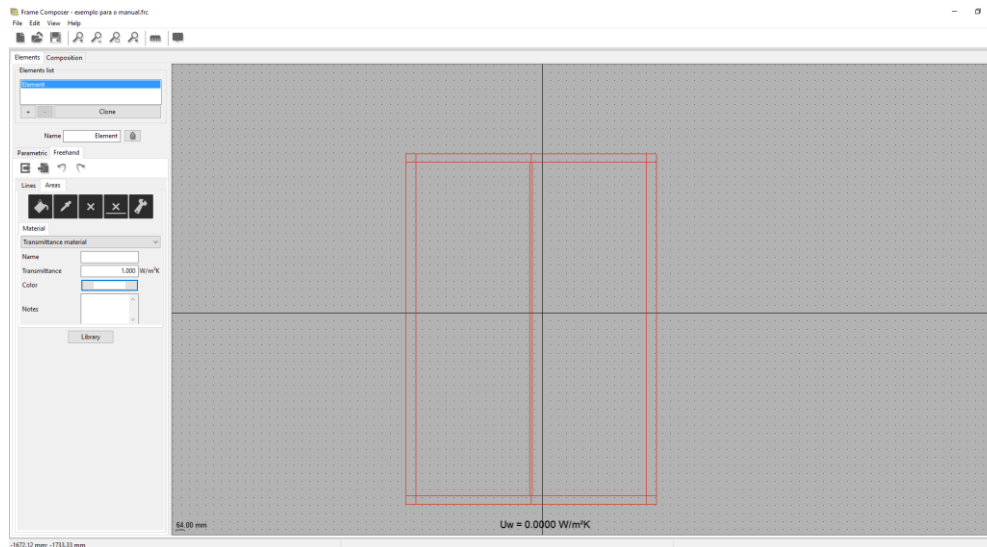
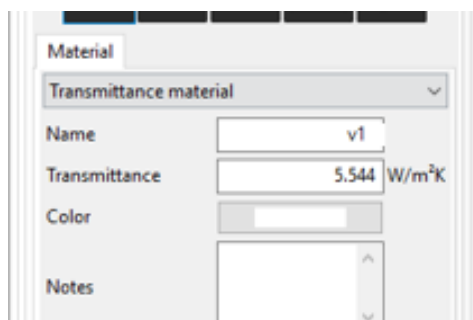
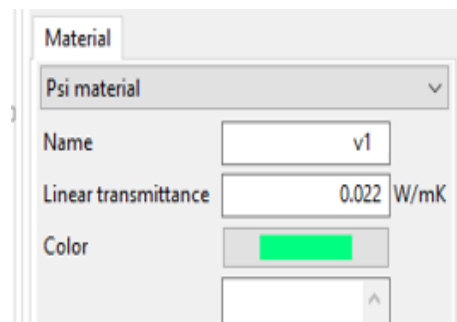


Figura 3.14- Representação do alçado no Frame Composer

A introdução de dados no Frame Composer consiste nos valores obtidos no Frame Simulator para cada nó. Primeiro insere-se o valor da transmissão térmica da caixilharia no nó (U_f) e de seguida o valor do coeficiente de transmissão térmica linear desse mesmo nó (Ψ) representado Figura.3.15.



a) Introdução do valor U_f



b) Introdução do valor de Ψ

Figura 3.15- Introdução do valor de U_f e Ψ do nó v1 no Frame Composer

Após serem introduzidos todos os valores dos nós o resultado será semelhante ao representado na Figura. 3.16.

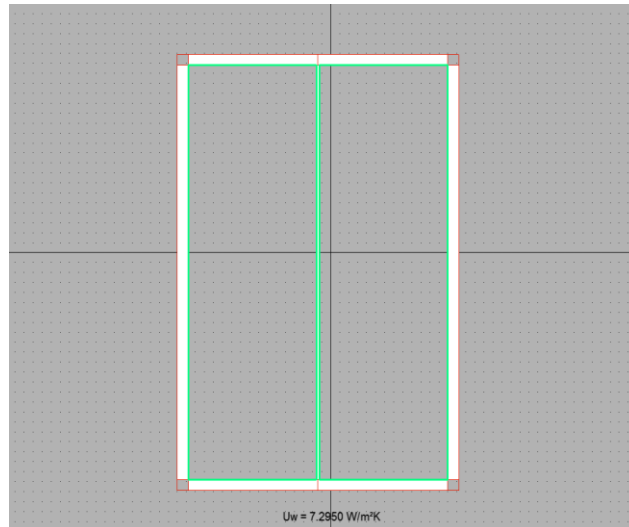


Figura 3.16- Representação do valor de todos os nós no Frame Composer

O último passo é colocar o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) obtido através do programa de cálculo Callumen, neste caso com o valor de $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, conforme podemos ver na Figura.3.17.

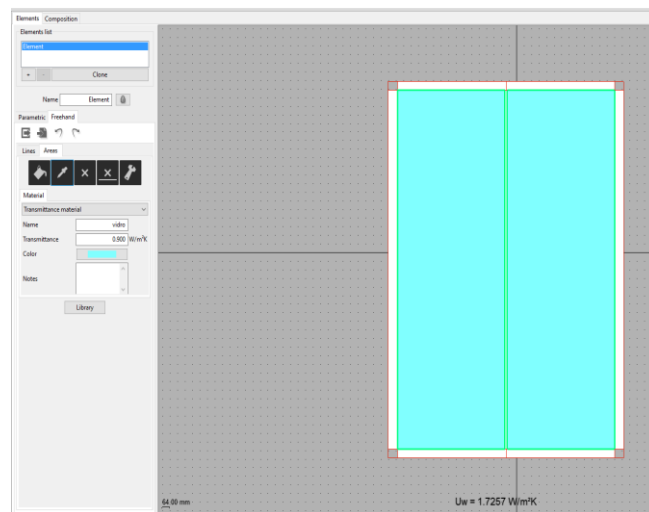


Figura 3.17- Alçado da janela com valor de U_f dos nós e U_g do vidro

Após a introdução destes três valores no Frame Composer, nomeadamente: coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f), o valor do coeficiente de transmissão linear (Ψ) e o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) obtém-se o valor final do coeficiente de transmissão térmica da janela $U_w=1.7257 \text{ W/m}^2$.

Através deste exemplo é possível observar que para obtenção do valor do coeficiente de transmissão térmico da janela (U_w) com base nas normas europeias é necessário saber o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) e o valor do coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f).

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CÁLCULO AO EDIFÍCIO DOM PEDRO

4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Durante o período do estágio, surgiu um projeto que revelou ser de particular interesse devido ao número de envidraçados que possui.

O projeto denomina-se Edifício Dom Pedro I e vai ocupar o terreno de um antigo hotel situado em Cascais na rua Rua Doutora Iracy Doyle, conforme apresentado na Figura 4.1.



Figura 4.1- Registo Fotográfico do Antigo Hotel Nau [16]

O edifício foi desenhado e projetado pelo ateliê de arquitetura Subvert Studios, da responsabilidade do Arq. Tiago Rebelo de Andrade.

O edifício é constituído por quatro pisos, sendo o R/C destinado a comércio e o primeiro, segundo e terceiro pisos destinados a habitação. O terceiro piso é um piso recuado, com parte de estrutura independente da estrutura dos restantes pisos, encontrando-se um corte do edifício no Anexo II.

CAPÍTULO 4

O R/C tem uma área de 1375 m², o primeiro piso uma área de 1474 m², segundo piso uma área de 1474 m² e o terceiro uma área de 1140 m² o que perfaz uma área total do edifício de 5463 m².

Toda a fachada do edifício será constituída por envidraçados conforme se pode observar na Figura 4.2.



a) Fachada do Edifício



b) Fachada do Edifício



c) Interior do R/C do edifício

Figura 4.2- 3D da fachada do Edifício Dom Pedro [16]

Por questões estéticas de enquadramento em relação aos edifícios envolventes e de ornamentação será colocado Filigrana na fachada após a colocação dos envidraçados de forma a embelezar o edifício conforme apresentado na Figura 4.3.

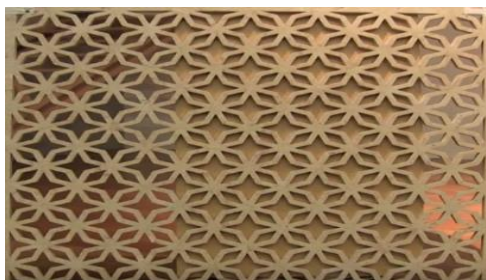


Figura 4.3- Filigrana utilizado na ornamentação da fachada

Devido ao facto do projeto ter uma grande quantidade de envidraçados houve um requisito por parte da equipa projetista antes da decisão final sobre qual a empresa que deveria fornecer a caixilharia para a obra. O requisito consistiu no valor do coeficiente de transmissão térmica do sistema de janela ser menor do que $2 \text{ W/m}^2\text{k}$. Por esse motivo foram efetuados diversos estudos de forma a encontrar a melhor solução possível conforme indicado na Tabela 4.1.

Os estudos consistiram na variação da caixilharia PLUS série 38 e 54, com ou sem reforço para diferentes valores do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g).

Tabela 4.1- Estudos efetuados

Estudos realizados	Sistema e Série	Valor de U_g ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Estudo efetuado
Estudo1	OTIIMA PLUS 38	0.9	Sem reforço
		1.0	
		1.1	
Estudo2	OTIIMA PLUS 54	0.6	Sem reforço
		0.7	
		0.8	
Estudo3	OTIIMA PLUS 38	0.9	Com reforço
		1.0	
		1.1	
Estudo4	OTIIMA PLUS 54	0.6	Com reforço
		0.7	
		0.8	
Estudo5	OTIIMA PLUS 54	0.6	Reforço, Espuma e PVC
		0.7	
		0.8	

4.2 PREPARAÇÃO E ESTUDOS EFETUADOS

4.2.1 Preparação de dados para posterior cálculo

- Tipologias de vãos existentes

Numa primeira fase de receção das plantas do projeto, é necessário fazer a preparação, ou seja, a implantação da caixilharia na planta, este processo consiste em ver qual as dimensões dos vãos e quais as tipologias (fixo, correr, open) que são mais funcionais para cada caso.

É necessário para tal ter as plantas originais desenhadas pelo arquitecto, que se encontram todas no Anexo III. Na Figura 4.4 é apresentada a planta do R/C.

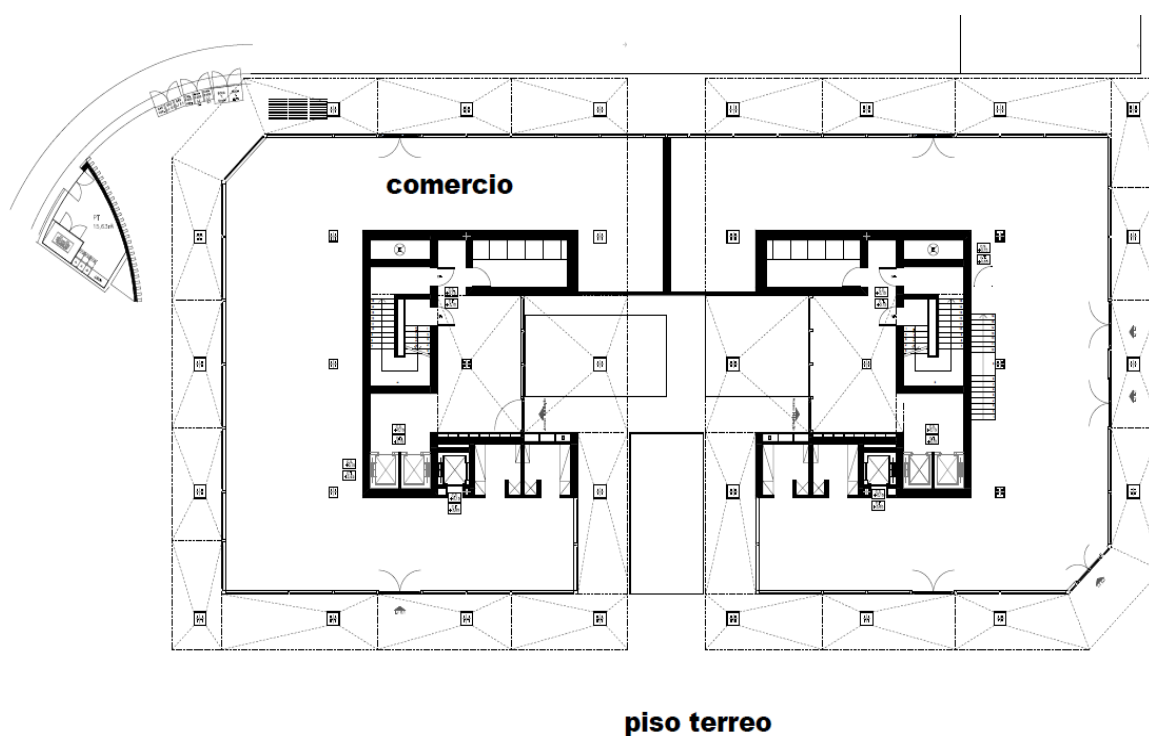


Figura 4.4- Planta do Piso R/C (não está à escala)

No caso do edifício Dom Pedro estipulou-se de início, após reunião com a equipa projetista, que o sistema usado seria o PLUS, devido a todas as vantagens, nomeadamente a da comodidade devido à soleira ser ao nível do pavimento, que apresenta em relação ao sistema CLASSIC.

O sistema PLUS é geralmente o sistema mais usado neste tipo de projeto de maior dimensão.

Após análise detalhada da planta concluiu-se que seriam implementadas 15 tipologias de janelas diferentes.

De seguida, na Tabela 4.2, enumeram-se as diversas tipologias de vãos existentes, neste caso concreto são 15 tipologias.

Tabela 4.2- Mapa de quantidades das tipologias das janelas - Edifício Dom Pedro

Tipologia:	Quantidade janelas:
J1	1
J2	2
J3	8
J4	2
J5	1
J6	8
J7	4
J8	2
J9	3
J10	3
J11	4
J12	3
J13	4
J14	8
J15	2
Total:	55

A janela J1 requer um cálculo especial dado que este diz respeito à totalidade da fachada do piso R/C. Neste piso a fachada foi colocada recuada dos pilares, todos os elementos envidraçados que constituem a fachada serão considerados um só vão pois não há elementos de separação entre eles, como é o caso dos restantes pisos em que os envidraçados são interrompidos por pilares e paredes. Por este motivo a janela J1 é muito extensa sendo impossível a sua colocação em alçado com definição numa folha A4, por esse motivo é apresentada com representação interrompida.

No Anexo IV encontram-se representados os alçados das 15 tipologias de janelas existentes.

- Separação dos nós das diferentes janelas

Conforme explicado no capítulo anterior, o próximo passo é separar todos os nós correspondentes às diferentes janelas, perfazendo uma totalidade de 22 nós nos cinco casos de estudo.

É importante referir que no programa os cantos são sempre rebatidos, isto significa que quando existe um canto em planta esse deve ser representado em alçado apenas com a indicação de se tratar de um canto no respetivo ponto.

Um outro aspeto importante a mencionar é que as portas devem ser representadas a tracejado de forma a ser perceptível tratar-se de um ponto de entrada principal.

- Numeração dos nós

Todos os nós constituintes dos vãos (J1 a J15) foram numerados de v1 a v22 e a localização destes encontra-se explícita nos alçados, conforme se pode constatar pelo exemplo representativo presente na Figura 4.5.

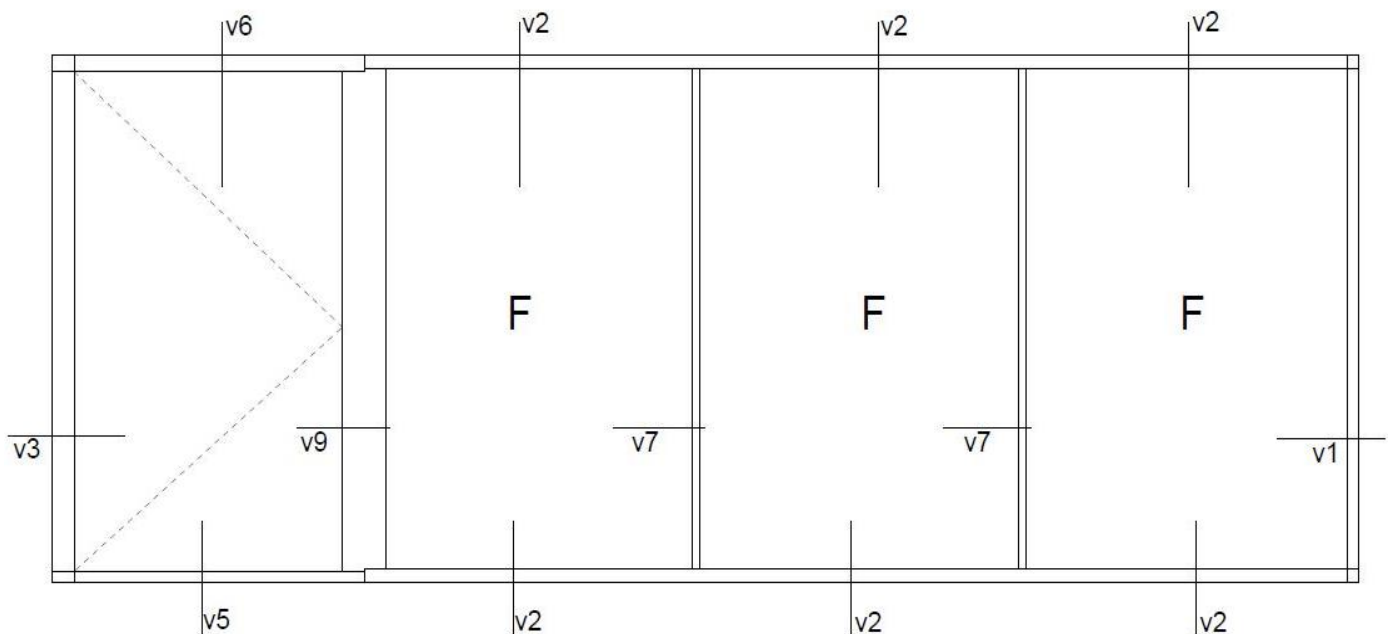


Figura 4.5- Alçado da janela J2

É também nos alçados que se indica o sentido de abertura das janelas ou portas, sendo que quando estas são de correr o sentido é representado por setas e quando estas são fixas é apresentado um F na folha que é fixa.

Todos os nós, com e sem reforço, estão representados no Anexo V.

4.2.2 Estudo 1- Caixilharia PLUS 38 mm

- OTIIMA PLUS 38 Sem Reforço

Numa fase inicial efetuou-se um estudo térmico com a implantação em obra da caixilharia OTIIMA PLUS 38 sem reforço.

O cálculo dos nós foi efetuado com recurso ao software Frame Simulator, onde se obteve o valor da transmissão térmica linear (Ψ) e do coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f) para cada nó.

Na Tabela 4.3 serão apresentados os respetivos valores obtidos no cálculo para cada nó:

Tabela 4.3- Valores dos nós para o Estudo 1

Nós	Ψ (W/m.K)	U_f (W/m ² K)
v1	0.0333	4.4727
v2	0.0318	5.0887
v3	0.0205	3.9160
v4	0.0966	4.1461
v5	0.0297	3.4617
v6	0.0190	4.0797
v7	0.0425	11.8102
v8	0.0718	5.2608
v9	0.1221	5.1386
v10	0.0762	5.8141
v11	0.0453	5.3995
v12	0.0301	8.4772
v13	0.0731	17.6486
v14	0.0607	9.2991
v15	0.0089	7.7959
v16	0.0099	7.0346
v17	0.0320	5.7544
v18	0.0310	4.9550
v19	0.0330	4.9532
v20	0.0327	4.9550
v21	0.0554	8.4710
v22	0.0125	8.2875

Depois de obtidos os valores dos nós individualmente, passou-se à fase seguinte, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w), este cálculo foi efetuado com base nos valores de cada nó e com o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) obtido através do programa Callumen da Saint Gobain. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) foi efetuado com recurso ao software Frame Composer.

Na Tabela 4.4 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada tipologia com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.4- Valores do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) do Edifício D.Pedro com sistema 38 PLUS sem reforço $U_g=0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,9	1,365
J2	17,70728787	0,9	1,5162
J2	17,70728787	0,9	1,5162
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J3	8,583124603	0,9	1,5891
J9	36,71859671	0,9	1,7186
J9	36,71859671	0,9	1,7186
J9	36,71859671	0,9	1,7186
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J6	6,97200012	0,9	1,7023
J7	11,71989096	0,9	1,4813

(continuação da Tabela 4.4)			
J7	11,71989096	0,9	1,4813
J7	11,71989096	0,9	1,4813
J7	11,71989096	0,9	1,4813
J4	36,63790648	0,9	1,4839
J4	36,63790648	0,9	1,4839
J8	31,33603342	0,9	1,5725
J8	31,33603342	0,9	1,5725
J5	36,63413777	0,9	1,3438
J15	31,36680265	0,9	1,555
J15	31,36680265	0,9	1,555
J10	35,9557084	0,9	1,5167
J10	35,9557084	0,9	1,5167
J10	35,9557084	0,9	1,5167
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J14	7,391999873	0,9	1,6695
J13	11,17184453	0,9	1,4852
J13	11,17184453	0,9	1,4852
J13	11,17184453	0,9	1,4852
J13	11,17184453	0,9	1,4852
J12	27.540834608	0,9	1,5265
J12	27.540834608	0,9	1,5265
J12	27.540834608	0,9	1,5265
J11	8,581844809	0,9	1,5908
J11	8,581844809	0,9	1,5908
J11	8,581844809	0,9	1,5908
J11	8,581844809	0,9	1,5908
		Uw (global) (W/m²k)	1,504945

Para a implantação de caixilharia 38 PLUS sem reforço com coeficiente de transmissão térmica de 0.9 W/m²K o valor médio do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) é de 1.504945 W/m²K.

Na Tabela 4.5 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro U_g=1.0 W/m²K.

Tabela 4.5- Valores do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) do Edifício D.Pedro com sistema 38 PLUS sem reforço U_g=1.0 W/m²K

Tipologia	Área (m ²)	U _g (W/m ² K)	U _w (W/m ² K)
J1	370,8026323	1	1,4587
J2	17,70728787	1	1,5642
J2	17,70728787	1	1,5642
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J3	8,583124603	1	1,6011
J9	36,71859671	1	1,471
J9	36,71859671	1	1,471
J9	36,71859671	1	1,471
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J6	6,97200012	1	1,791
J7	11,71989096	1	1,5725
J7	11,71989096	1	1,5725

(continuação da Tabela 4.5)			
J7	11,71989096	1	1,5725
J7	11,71989096	1	1,5725
J4	36,63790648	1	1,5755
J4	36,63790648	1	1,5755
J8	31,33603342	1	1,6628
J8	31,33603342	1	1,6628
J5	36,63413777	1	1,4018
J15	31,36680265	1	1,6453
J15	31,36680265	1	1,6453
J10	35,9557084	1	1,6083
J10	35,9557084	1	1,6083
J10	35,9557084	1	1,6083
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J14	7,391999873	1	1,7586
J13	11,17184453	1	1,5764
J13	11,17184453	1	1,5764
J13	11,17184453	1	1,5764
J13	11,17184453	1	1,5764
J12	27.540834608	1	1,6179
J12	27.540834608	1	1,6179
J12	27.540834608	1	1,6179
J11	8,581844809	1	1,6807
J11	8,581844809	1	1,6807
J11	8,581844809	1	1,6807
J11	8,581844809	1	1,6807
Uw (global) (W/m²K)			1,555801

Para a implantação de caixilharia 38 PLUS sem reforço com coeficiente de transmissão térmica de 1.0 W/m²K o valor médio do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) é de 1.555801 W/m²K.

Na Tabela 4.6 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro U_g=1.1 W/m²K.

Tabela 4.6- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 38 PLUS sem reforço U_g=1.1 W/m²K.

Tipologia	Área (m ²)	U _g (W/m ² K)	U _w (W/m ² K)
J1	370,8026323	1,1	1,5496
J2	17,70728787	1,1	1,6525
J2	17,70728787	1,1	1,6525
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J3	8,583124603	1,1	1,769
J9	36,71859671	1,1	1,9041
J9	36,71859671	1,1	1,9041
J9	36,71859671	1,1	1,9041
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J6	6,97200012	1,1	1,8797
J7	11,71989096	1,1	1,6636
J7	11,71989096	1,1	1,6636

(continuação da Tabela 4.6)			
J7	11,71989096	1,1	1,6636
J7	11,71989096	1,1	1,6636
J4	36,63790648	1,1	1,6670
J4	36,63790648	1,1	1,6670
J8	31,33603342	1,1	1,753
J8	31,33603342	1,1	1,753
J5	36,63413777	1,1	1,5298
J15	31,36680265	1,1	1,7355
J15	31,36680265	1,1	1,7355
J10	35,9557084	1,1	1,6999
J10	35,9557084	1,1	1,6999
J10	35,9557084	1,1	1,6999
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J14	7,391999873	1,1	1,8476
J13	11,17184453	1,1	1,6675
J13	11,17184453	1,1	1,6675
J13	11,17184453	1,1	1,6675
J13	11,17184453	1,1	1,6675
J12	27.540834608	1,1	1,7093
J12	27.540834608	1,1	1,7093
J12	27.540834608	1,1	1,7093
J11	8,581844809	1,1	1,7707
J11	8,581844809	1,1	1,7707
J11	8,581844809	1,1	1,7707
J11	8,581844809	1,1	1,7707
		Uw (global) (W/m²K)	1,68689

É apresentada de seguida na Tabela 4.7 um resumo dos valores obtidos no Estudo 1.

Tabela 4.7- Resumo - Estudo 1

Estudo 1	Ug (W/m²K)	Uw (W/m²K)
Sistema PLUS Série 38 sem reforço	0.9	1,504945
	1.0	1,555801
	1.1	1,68689

Observa-se num primeiro estudo que quanto maior o valor de coeficiente de transmissão térmica do vidro (Ug), maior o valor do coeficiente de transmissão térmica do sistema de janela (Uw).

4.2.3 Estudo 2- Caixilharia PLUS 54 mm

Numa segunda fase, quase em paralelo com o Estudo 1, foi efetuado o Estudo 2.

Este segundo estudo contempla a implantação e utilização em obra de caixilharia PLUS 54 sem reforço.

O valor dos nós obtidos para o Estudo 2 encontram-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8- Valores dos nós para o Estudo 2

Nós	Ψ (W/m.K)	Uf (W/m²k)
v1	0.0613	4.7089
v2	0.0594	5.3786
v3	0.0311	3.8566
v4	0.1114	3.0609
v5	0.0306	3.6779
v6	0.0307	3.9935
v7	0.0866	11.7159
v8	0.1236	5.4659
v9	0.1266	5.3111
v10	0.1305	5.6561
v11	0.0843	6.4258
v12	0.1072	10.0990
v13	0.1366	20.4426
v14	0.1283	10.6773
v15	0.0225	5.5442
v16	0.0259	5.2768
v17	0.0593	5.5430
v18	0.0591	5.0861
v19	0.0596	5.0361
v20	0.0592	5.0283
v21	0.0751	6.4196
v22	0.0443	6.3662

Conforme efetuado anteriormente para o Estudo 1, depois de obtidos os valores dos nós individualmente, passou-se à fase seguinte, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w), este cálculo foi efetuado com base nos valores de cada nó e com o valor do coeficiente de transmissão térmico do vidro (U_g) obtido através do programa Callumen da Saint Gobain. O cálculo do valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) foi efetuado com recurso ao software Frame Composer.

Na Tabela 4.9 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.9- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS sem reforço $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,6	1,1974
J2	17,70728787	0,6	1,313
J2	17,70728787	0,6	1,313
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J3	8,583124603	0,6	1,3066
J9	36,71859671	0,6	1,1691
J9	36,71859671	0,6	1,1691
J9	36,71859671	0,6	1,1691
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083
J6	6,97200012	0,6	1,4083

(continuação da Tabela 4.9)			
J7	11,71989096	0,6	1,4882
J7	11,71989096	0,6	1,4882
J7	11,71989096	0,6	1,4882
J7	11,71989096	0,6	1,4882
J4	36,63790648	0,6	1,328
J4	36,63790648	0,6	1,328
J8	31,33603342	0,6	1,3594
J8	31,33603342	0,6	1,3594
J5	36,63413777	0,6	1,0805
J15	31,36680265	0,6	1,4815
J15	31,36680265	0,6	1,4815
J10	35,9557084	0,6	1,2916
J10	35,9557084	0,6	1,2916
J10	35,9557084	0,6	1,2916
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J14	7,391999873	0,6	1,38
J13	11,17184453	0,6	1,2039
J13	11,17184453	0,6	1,2039
J13	11,17184453	0,6	1,2039
J13	11,17184453	0,6	1,2039
J12	27.540834608	0,6	1,304
J12	27.540834608	0,6	1,304
J12	27.540834608	0,6	1,304
J11	8,581844809	0,6	1,3078
J11	8,581844809	0,6	1,3078
J11	8,581844809	0,6	1,3078
		Uw (global) (W/m²K)	1,276246

Na Tabela 4.10 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.10- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS sem reforço $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,7	1,2882
J2	17,70728787	0,7	1,4013
J2	17,70728787	0,7	1,4013
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J3	8,583124603	0,7	1,3966
J9	36,71859671	0,7	1,2618
J9	36,71859671	0,7	1,2618
J9	36,71859671	0,7	1,2618
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J6	6,97200012	0,7	1,497
J7	11,71989096	0,7	1,5794
J7	11,71989096	0,7	1,5794
J7	11,71989096	0,7	1,5794
J7	11,71989096	0,7	1,5794
J4	36,63790648	0,7	1,4195

(continuação da Tabela 4.10)			
J4	36,63790648	0,7	1,4195
J8	31,33603342	0,7	1,4497
J8	31,33603342	0,7	1,4497
J5	36,63413777	0,7	1,1735
J15	31,36680265	0,7	1,5718
J15	31,36680265	0,7	1,5718
J10	35,9557084	0,7	1,3832
J10	35,9557084	0,7	1,3832
J10	35,9557084	0,7	1,3832
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J14	7,391999873	0,7	1,4691
J13	11,17184453	0,7	1,295
J13	11,17184453	0,7	1,295
J13	11,17184453	0,7	1,295
J13	11,17184453	0,7	1,295
J12	27.540834608	0,7	1,3954
J12	27.540834608	0,7	1,3954
J12	27.540834608	0,7	1,3954
J11	8,581844809	0,7	1,3977
J11	8,581844809	0,7	1,3977
J11	8,581844809	0,7	1,3977
J11	8,581844809	0,7	1,3977
		U_w (global) (W/m²K)	1,36705

Na Tabela 4.11 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.11- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS
sem reforço $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Area (m ²)	U _g (W/m ² K)	U _w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,8	1,379
J2	17,70728787	0,8	1,4897
J2	17,70728787	0,8	1,4897
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J3	8,583124603	0,8	1,4865
J10	36,71859671	0,8	1,3544
J10	36,71859671	0,8	1,3544
J10	36,71859671	0,8	1,3544
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J6	6,97200012	0,8	1,5857
J7	11,71989096	0,8	1,6705
J7	11,71989096	0,8	1,6705
J7	11,71989096	0,8	1,6705
J7	11,71989096	0,8	1,6705
J4	36,63790648	0,8	1,5111
J4	36,63790648	0,8	1,5111
J8	31,33603342	0,8	1,54
J8	31,33603342	0,8	1,54
J5	36,63413777	0,8	1,2664

(continuação da Tabela 4.11)			
J15	31,36680265	0,8	1,6621
J15	31,36680265	0,8	1,6621
J10	35,9557084	0,8	1,4748
J10	35,9557084	0,8	1,4748
J10	35,9557084	0,8	1,4748
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J14	7,391999873	0,8	1,5582
J13	11,17184453	0,8	1,3862
J13	11,17184453	0,8	1,3862
J13	11,17184453	0,8	1,3862
J13	11,17184453	0,8	1,3862
J12	27.540834608	0,8	1,4889
J12	27.540834608	0,8	1,4889
J12	27.540834608	0,8	1,4889
J11	8,581844809	0,8	1,4877
J11	8,581844809	0,8	1,4877
J11	8,581844809	0,8	1,4877
J11	8,581844809	0,8	1,4877
		Uw (global) (W/m²K)	1,457848

É apresentada na Tabela 4.12 um resumo dos valores obtidos no Estudo 2.

Tabela 4.12- Resumo - Estudo 2

Estudo 2	U_g (W/m²K)	U_w (W/m²k)
Sistema PLUS Série 54 sem reforço	0.6	1,276246
	0.7	1,36705
	0.8	1,457848

É possível, como no caso anterior, constatar que o valor do coeficiente térmico da janela (U_w) diminui quanto menor for o valor do coeficiente térmico do vidro (U_g). Não é possível no entanto efetuar uma comparação direta com o Estudo 1 pois o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) usado para a série de 38 mm não é o mesmo do que o usado para a série 54 mm.

Para diferentes espessuras de vidros existem diferentes valores que se conseguem obter para o coeficiente de transmissão térmico do vidro (U_g). É importante referir que quanto menor o coeficiente de transmissão térmico do vidro (U_g) mais tratamento o vidro possui, o que conduz a um aumento do preço do vidro.

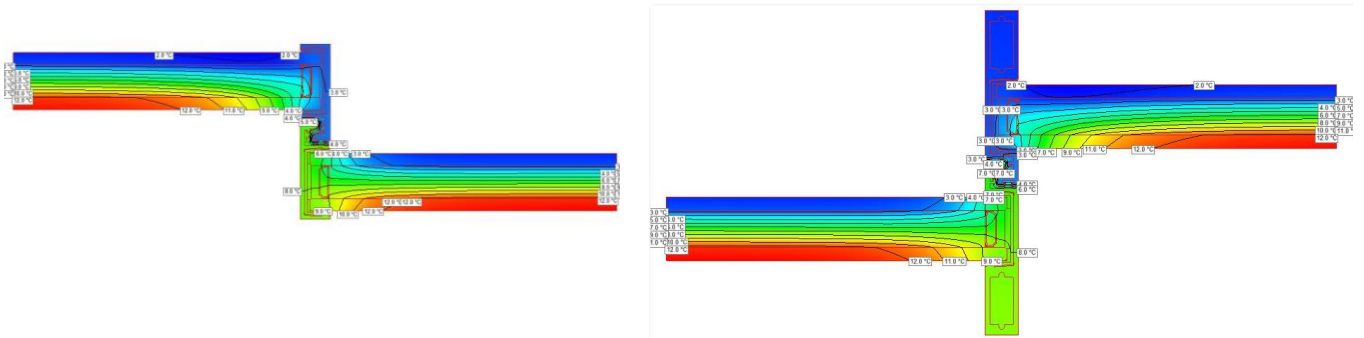
4.2.4 Estudo 3- Caixilharia PLUS 38 mm com reforço

Numa terceira fase, já depois de a equipa projetista ter efetuado o estudo da ação do vento sobre a fachada do edifício, estudo que se encontra no Anexo VI, constatou-se que a zona em que o edifício se encontra, Cascais, é uma zona com uma pressão de vento bastante alta. Por estes motivos para maior segurança a nível estrutural optou-se por colocar em obra caixilharia com reforço.

O reforço consiste em colocar uma maior espessura de alumínio nos nós. Neste caso apenas diferem as capas centrais pois estas são reforçadas em todos os pisos tornando a segurança da estrutura para resistir ao vento maior, mas consequentemente uma expressão de alumínio maior.

Por este motivo o nó das capas centrais, denominado nos estudos anterior v13 e v14 altera, dando lugar a dois novos nós, o v13* e o v14* que correspondem respetivamente à capa normal e à capa invertida.

A capa não reforçada é substituída por uma capa com reforço conforme representado na Figura 4.6.



a) Capa central não reforçada

b) Capa central reforçada

Figura 4.6- Capas centrais com e sem reforço

O valores dos restantes nós é semelhante ao dos estudos anteriores.

O valor dos novos nós modificados para o Estudo 3 encontram-se na Tabela 4.13.

Tabela 4.13- Valores dos nós para o caso de Estudo 3

Nós	ψ (W/m.K)	Uf W/(m ² K)
v13*	0.0798	24.0153
v14*	0.0607	29.6356

Apesar de serem apenas dois nós alterados a alteração destes nós conduz à alteração do valor global do coeficiente de transmissão térmica das janelas do projeto.

Na Tabela 4.14 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (Uw) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro Ug=0.9 W/m²K.

Tabela 4.14- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS
com reforço $U_g=0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	$U_g \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$U_w \text{ (W/m}^2\text{K)}$
J1	370,8026323	0,9	1,365
J2	17,70728787	0,9	1,5162
J2	17,70728787	0,9	1,5162
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J3	8,583124603	0,9	1,6331
J9	36,71859671	0,9	1,765
J9	36,71859671	0,9	1,765
J9	36,71859671	0,9	1,765
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J6	6,97200012	0,9	1,7565
J7	11,71989096	0,9	1,5151
J7	11,71989096	0,9	1,5151
J7	11,71989096	0,9	1,5151
J7	11,71989096	0,9	1,5151
J4	36,63790648	0,9	1,5548
J4	36,63790648	0,9	1,5548
J8	31,33603342	0,9	1,6086
J8	31,33603342	0,9	1,6086
J5	36,63413777	0,9	1,3644

(continuação da Tabela 4.14)			
J15	31,36680265	0,9	1,583
J15	31,36680265	0,9	1,583
J10	35,9557084	0,9	1,5331
J10	35,9557084	0,9	1,5331
J10	35,9557084	0,9	1,5331
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J14	7,391999873	0,9	1,7206
J13	11,17184453	0,9	1,519
J13	11,17184453	0,9	1,519
J13	11,17184453	0,9	1,519
J13	11,17184453	0,9	1,519
J12	27.540834608	0,9	1,557
J12	27.540834608	0,9	1,557
J12	27.540834608	0,9	1,557
J11	8,581844809	0,9	1,6348
J11	8,581844809	0,9	1,6348
J11	8,581844809	0,9	1,6348
J11	8,581844809	0,9	1,6348
Uw (global) (W/m²K)			1,53073

Na Tabela 4.15 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.15- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS
com reforço $U_g=1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	$U_g \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$U_w \text{ (W/m}^2\text{K)}$
J1	370,8026323	1	1,4587
J2	17,70728787	1	1,5642
J2	17,70728787	1	1,5642
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J3	8,583124603	1	1,723
J9	36,71859671	1	1,8578
J9	36,71859671	1	1,8578
J9	36,71859671	1	1,8578
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J6	6,97200012	1	1,8452
J7	11,71989096	1	1,6063
J7	11,71989096	1	1,6063
J7	11,71989096	1	1,6063
J7	11,71989096	1	1,6063
J4	36,63790648	1	1,6472
J4	36,63790648	1	1,6472
J8	31,33603342	1	1,6989
J8	31,33603342	1	1,6989
J5	36,63413777	1	1,4574

(continuação da Tabela 4.15)			
J15	31,36680265	1	1,6739
J15	31,36680265	1	1,6739
J10	35,9557084	1	1,6257
J10	35,9557084	1	1,6257
J10	35,9557084	1	1,6257
J14	7,391999873	1	1,8097
J14	7,391999873	1	1,8097
J14	7,391999873	1	1,8097
J14	7,391999873	1	1,8097
J14	7,391999873	1	1,8097
J14	7,391999873	1	1,8097
J14	7,391999873	1	1,8097
J14	7,391999873	1	1,8097
J13	11,17184453	1	1,6102
J13	11,17184453	1	1,6102
J13	11,17184453	1	1,6102
J13	11,17184453	1	1,6102
J12	27.540834608	1	1,649
J12	27.540834608	1	1,649
J12	27.540834608	1	1,649
J11	8,581844809	1	1,7248
J11	8,581844809	1	1,7248
J11	8,581844809	1	1,7248
J11	8,581844809	1	1,7248
Uw (global) (W/m²K)			1,622356

Na Tabela 4.16 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.16- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D.Pedro com sistema 54 PLUS
com reforço $U_g=1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	1,1	1,5496
J2	17,70728787	1,1	1,6525
J2	17,70728787	1,1	1,6525
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J3	8,583124603	1,1	1,813
J9	36,71859671	1,1	1,9505
J9	36,71859671	1,1	1,9505
J9	36,71859671	1,1	1,9505
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J6	6,97200012	1,1	1,9339
J7	11,71989096	1,1	1,6974
J7	11,71989096	1,1	1,6974
J7	11,71989096	1,1	1,6974
J7	11,71989096	1,1	1,6974
J4	36,63790648	1,1	1,7396
J4	36,63790648	1,1	1,7396
J8	31,33603342	1,1	1,7891
J8	31,33603342	1,1	1,7891

(continuação da Tabela 4.16)			
J5	36,63413777	1,1	1,5504
J15	31,36680265	1,1	1,7647
J15	31,36680265	1,1	1,7647
J10	35,9557084	1,1	1,7183
J10	35,9557084	1,1	1,7183
J10	35,9557084	1,1	1,7183
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J14	7,391999873	1,1	1,8988
J13	11,17184453	1,1	1,7013
J13	11,17184453	1,1	1,7013
J13	11,17184453	1,1	1,7013
J13	11,17184453	1,1	1,7013
J12	27.540834608	1,1	1,741
J12	27.540834608	1,1	1,741
J12	27.540834608	1,1	1,741
J11	8,581844809	1,1	1,8147
J11	8,581844809	1,1	1,8147
J11	8,581844809	1,1	1,8147
J11	8,581844809	1,1	1,8147
		Uw (global) (W/m²K)	1,713358

É apresentada na Tabela 4.17 um resumo dos valores obtidos no Estudo 3 com caixilharia PLUS 38 reforçada.

Tabela 4.17- Resumo - Estudo 3

Estudo 3	Ug (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)
Sistema PLUS Série 38 com reforço	0.9	1,53073
	1.0	1,622356
	1.1	1.713358

Neste caso a substituição dos nós v13 e v14 por v13* e v14* contribuiu para um aumento da área de alumínio e conseqüentemente para um valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (Uw) maior.

4.2.5 Estudo 4- Caixilharia PLUS 54 mm com reforço

Em paralelo com o estudo 3 foi efetuado o Estudo 4 onde é calculado o valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (Uw) quando é usado o sistema PLUS, série 54 com reforço nas capas centrais.

Este estudo foi elaborado para os três valores do coeficiente de transmissão térmica do vidro (Ug) 0.6 W/m²K, 0.7 W/m²K e 0.8 W/m²K.

Numa fase inicial calcularam-se os novos valores dos nós reforçados, v13* e v14*, representados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18- Valores dos novos nós reforçados

Nós	ψ (W/m.K)	Uf W/(m ² K)
v13*	0.1427	26.3588
v14*	0.1339	31.1586

Procedeu-se de seguida ao cálculo do coeficiente de transmissão térmica do sistema de janela (Uw).

Na Tabela 4.19 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (Uw) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro Ug=0.6 W/m²K.

Tabela 4.19- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS
com reforço $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,6	1,1974
J2	17,70728787	0,6	1,313
J2	17,70728787	0,6	1,313
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J9	36,71859671	0,6	1,2183
J9	36,71859671	0,6	1,2183
J9	36,71859671	0,6	1,2183
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J7	11,71989096	0,6	1,5194
J7	11,71989096	0,6	1,5194
J7	11,71989096	0,6	1,5194
J7	11,71989096	0,6	1,5194
J4	36,63790648	0,6	1,3177
J4	36,63790648	0,6	1,3177
J8	31,33603342	0,6	1,3927
J8	31,33603342	0,6	1,3927

(continuação da Tabela 4.19)			
J5	36,63413777	0,6	1,0995
J15	31,36680265	0,6	1,3762
J15	31,36680265	0,6	1,3762
J10	35,9557084	0,6	1,3035
J10	35,9557084	0,6	1,3035
J10	35,9557084	0,6	1,3035
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J13	11,17184453	0,6	1,235
J13	11,17184453	0,6	1,235
J13	11,17184453	0,6	1,235
J13	11,17184453	0,6	1,235
J12	27.540834608	0,6	1,3237
J12	27.540834608	0,6	1,3237
J12	27.540834608	0,6	1,3237
J11	8,581844809	0,6	1,3484
J11	8,581844809	0,6	1,3484
J11	8,581844809	0,6	1,3484
J11	8,581844809	0,6	1,3484
		Uw (global) (W/m²K)	1,288854

Na Tabela 4.20 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (Uw) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.20- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS
com reforço $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,7	1,2882
J2	17,70728787	0,7	1,4013
J2	17,70728787	0,7	1,4013
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J9	36,71859671	0,7	1,311
J9	36,71859671	0,7	1,311
J9	36,71859671	0,7	1,311
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J7	11,71989096	0,7	1,6105
J7	11,71989096	0,7	1,6105
J7	11,71989096	0,7	1,6105
J7	11,71989096	0,7	1,6105
J4	36,63790648	0,7	1,4102
J4	36,63790648	0,7	1,4102
J8	31,33603342	0,7	1,483
J8	31,33603342	0,7	1,483

(continuação da Tabela 4.20)			
J5	36,63413777	0,7	1,1924
J15	31,36680265	0,7	1,467
J15	31,36680265	0,7	1,467
J10	35,9557084	0,7	1,3961
J10	35,9557084	0,7	1,3961
J10	35,9557084	0,7	1,3961
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J12	27.540834608	0,7	1,4157
J12	27.540834608	0,7	1,4157
J12	27.540834608	0,7	1,4157
J11	8,581844809	0,7	1,4383
J11	8,581844809	0,7	1,4383
J11	8,581844809	0,7	1,4383
J11	8,581844809	0,7	1,4383
Uw (global) (W/m²K)			1,379832

Na Tabela 4.21 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.21- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS
com reforço $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,8	1,379
J2	17,70728787	0,8	1,4897
J2	17,70728787	0,8	1,4897
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J9	36,71859671	0,8	1,4037
J9	36,71859671	0,8	1,4037
J9	36,71859671	0,8	1,4037
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J7	11,71989096	0,8	1,7017
J7	11,71989096	0,8	1,7017
J7	11,71989096	0,8	1,7017
J7	11,71989096	0,8	1,7017
J4	36,63790648	0,8	1,5027
J4	36,63790648	0,8	1,5027
J8	31,33603342	0,8	1,5733
J8	31,33603342	0,8	1,5733
J5	36,63413777	0,8	1,2854

(continuação da Tabela 4.21)			
J15	31,36680265	0,8	1,5579
J15	31,36680265	0,8	1,5579
J10	35,9557084	0,8	1,4887
J10	35,9557084	0,8	1,4887
J10	35,9557084	0,8	1,4887
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J12	27.540834608	0,8	1,5077
J12	27.540834608	0,8	1,5077
J12	27.540834608	0,8	1,5077
J11	8,581844809	0,8	1,5283
J11	8,581844809	0,8	1,5283
J11	8,581844809	0,8	1,5283
J11	8,581844809	0,8	1,5283
Uw (global) (W/m²K)			1,470827

É apresentada de seguida a Tabela 4.22 que consiste no resumo do Estudo 4.

Tabela 4.22- Resumo - Estudo 4

Estudo 4	Ug (W/m²K)	Uw (W/m²K)
Sistema PLUS Série 54 com reforço	0.6	1,288854
	0.7	1,379832
	0.8	1.470827

Neste caso verifica-se um aumento pouco expressivo do valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w), um aumento na ordem dos 4%, pois a área de alumínio aumentou mas comparativamente com o baixo valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) e a área de vidro ser elevada é praticamente insignificante o aumento.

4.2.6 Estudo 5- Caixilharia PLUS 54 mm com reforço, espumas e capa de PVC

Num último estudo admitiu-se a possibilidade da introdução de espumas nas cavidades que nos estudos anteriores eram espaços sem nenhum material (cavidades ocas), representadas a verde na Figura 4.7., mantendo o reforço e feito o estudo apenas para a série 54mm.

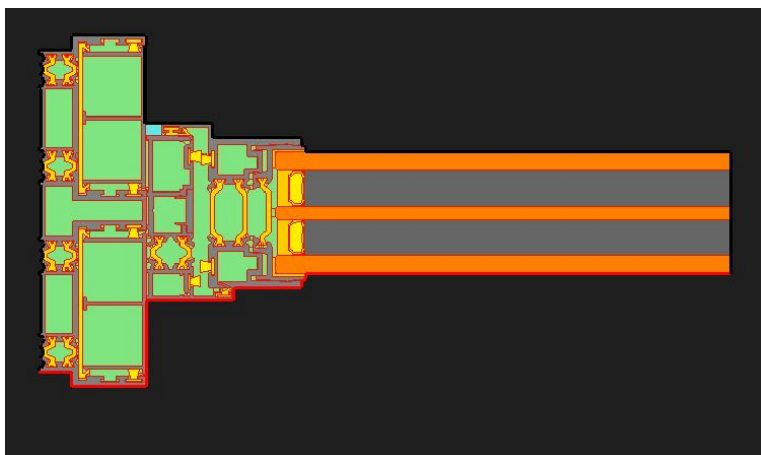


Figura 4.7- Representação das cavidades ocas (espaços vazios)

Houve ainda a modificação da capa central dos nós que passou a ser de alumínio para ser de PVC.

No entanto as espumas não podem ser introduzidas em todos nós para não inviabilizar a ventilação natural da caixilharia.

Os nós onde ocorreu a introdução das espumas e alteração das capas foram o v11 e v12.

Na Tabela 4.23 são apresentados os novos valores dos respetivos nós com a introdução da espuma e a alteração da capa central de alumínio para a capa central em PVC.

Tabela 4.23- Valores dos nós com introdução da espuma e capa de PVC

Nós	ψ (W/m.K)	U_f (W/(m ² K))
v11	0.0153	3.0995
v12	0.0214	7.1772

Na Tabela 4.24 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.24- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço/espuma e PVC $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,6	0,9087
J2	17,70728787	0,6	1,313
J2	17,70728787	0,6	1,313
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J3	8,583124603	0,6	1,3472
J9	36,71859671	0,6	1,2183
J9	36,71859671	0,6	1,2183
J9	36,71859671	0,6	1,2183
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J6	6,97200012	0,6	1,4583
J7	11,71989096	0,6	1,5194
J7	11,71989096	0,6	1,5194
J7	11,71989096	0,6	1,5194
J7	11,71989096	0,6	1,5194

(continuação da Tabela 4.24)			
J4	36,63790648	0,6	1,3177
J4	36,63790648	0,6	1,3177
J8	31,33603342	0,6	1,3927
J8	31,33603342	0,6	1,3927
J5	36,63413777	0,6	1,0995
J15	31,36680265	0,6	1,1273
J15	31,36680265	0,6	1,1273
J10	35,9557084	0,6	1,3035
J10	35,9557084	0,6	1,3035
J10	35,9557084	0,6	1,3035
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J14	7,391999873	0,6	1,4272
J13	11,17184453	0,6	1,235
J13	11,17184453	0,6	1,235
J13	11,17184453	0,6	1,235
J13	11,17184453	0,6	1,235
J12	27.540834608	0,6	1,3237
J12	27.540834608	0,6	1,3237
J12	27.540834608	0,6	1,3237
J11	8,581844809	0,6	1,3484
J11	8,581844809	0,6	1,3484
J11	8,581844809	0,6	1,3484
J11	8,581844809	0,6	1,3484
		Uw (global) (W/m²K)	1,183925

Na Tabela 4.25 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.25- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço/espuma e PVC $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	$U_g \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$U_w \text{ (W/m}^2\text{K)}$
J1	370,8026323	0,7	0,9123
J2	17,70728787	0,7	1,4013
J2	17,70728787	0,7	1,4013
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J3	8,583124603	0,7	1,4372
J9	36,71859671	0,7	1,311
J9	36,71859671	0,7	1,311
J9	36,71859671	0,7	1,311
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J6	6,97200012	0,7	1,547
J7	11,71989096	0,7	1,6105
J7	11,71989096	0,7	1,6105
J7	11,71989096	0,7	1,6105
J7	11,71989096	0,7	1,6105

(continuação da Tabela 4.25)			
J4	36,63790648	0,7	1,4102
J4	36,63790648	0,7	1,4102
J8	31,33603342	0,7	1,483
J8	31,33603342	0,7	1,483
J5	36,63413777	0,7	1,1924
J15	31,36680265	0,7	1,2626
J15	31,36680265	0,7	1,2626
J10	35,9557084	0,7	1,3961
J10	35,9557084	0,7	1,3961
J10	35,9557084	0,7	1,3961
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J14	7,391999873	0,7	1,5162
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J13	11,17184453	0,7	1,3262
J12	27.540834608	0,7	1,4157
J12	27.540834608	0,7	1,4157
J12	27.540834608	0,7	1,4157
J11	8,581844809	0,7	1,4383
J11	8,581844809	0,7	1,4383
J11	8,581844809	0,7	1,4383
J11	8,581844809	0,7	1,4383
		Uw (global) (W/m²K)	1,249632

Na Tabela 4.26 são apresentados os resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) para cada vão com a respetiva área, considerando um coeficiente de transmissão térmica do vidro $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 4.26- Valores do coeficiente de transmissão térmica do Edifício D. Pedro com sistema 54 PLUS com reforço/espuma e PVC $U_g=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tipologia	Área (m ²)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)
J1	370,8026323	0,8	1,023
J2	17,70728787	0,8	1,4897
J2	17,70728787	0,8	1,4897
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J3	8,583124603	0,8	1,5271
J9	36,71859671	0,8	1,4037
J9	36,71859671	0,8	1,4037
J9	36,71859671	0,8	1,4037
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J6	6,97200012	0,8	1,6357
J7	11,71989096	0,8	1,7017
J7	11,71989096	0,8	1,7017
J7	11,71989096	0,8	1,7017
J7	11,71989096	0,8	1,7017

(continuação da Tabela 4.26)			
J4	36,63790648	0,8	1,5027
J4	36,63790648	0,8	1,5027
J8	31,33603342	0,8	1,5733
J8	31,33603342	0,8	1,5733
J5	36,63413777	0,8	1,2854
J15	31,36680265	0,8	1,2013
J15	31,36680265	0,8	1,2013
J10	35,9557084	0,8	1,4887
J10	35,9557084	0,8	1,4887
J10	35,9557084	0,8	1,4887
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J14	7,391999873	0,8	1,6053
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J13	11,17184453	0,8	1,4174
J12	27.540834608	0,8	1,5077
J12	27.540834608	0,8	1,5077
J12	27.540834608	0,8	1,5077
J11	8,581844809	0,8	1,5283
J11	8,581844809	0,8	1,5283
J11	8,581844809	0,8	1,5283
J11	8,581844809	0,8	1,5283
		Uw (global) (W/m²K)	1,338771

É apresentada de seguida a Tabela 4.27 que consiste no resumo do Estudo 5.

Tabela 4.27- Resumo - Estudo 5

Estudo 5	Ug (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)
Sistema PLUS Série 54 com reforço e espuma	0.6	1,183925
	0.7	1,249632
	0.8	1.338771

Neste estudo constata-se uma diminuição dos valores do coeficiente de transmissão térmica em relação ao Estudo 4 sendo uma redução na ordem dos 10%. Apesar de ser uma redução maior do que nos estudos anteriores ainda não é uma redução muito acentuada. Tal deve-se ao facto de as espumas terem sido introduzidas apenas em dois nós e esses nós não estarem presentes em todas as tipologias de janelas. Observa-se contudo que se esta alteração fosse feita em mais nós conduziria a uma diminuição mais elevada do valor global do coeficiente de transmissão térmico da janela (Uw).

4.2.7 Análise de resultados

Através dos estudos efetuados é possível observar que as capas centrais são as que apresentam pior resultado, nomeadamente nos nós centrais v13 e v14 ocorre o valor mais alto do coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (Uf).

O Estudo 1 - Caixilharia OTIIMA 38 sem reforço- deve ser comparado ao Estudo 3 - Caixilharia OTIIMA 38 com reforço - e o Estudo 2 - Caixilharia OTIIMA 54 sem reforço- com o Estudo 4 - Caixilharia OTIIMA 54 com reforço-. O Estudo 5 -Caixilharia OTIIMA 54 com reforço- deve ser comparado ao Estudo 4 - Caixilharia OTIIMA 54 com reforço-. Não é possível tirar conclusões entre as caixilharias 38mm e 54mm porque para caixilharias de diferentes espessuras os valores do coeficiente de transmissão térmica do vidro (Ug) diferem como tal não há uma relação direta entre resultados.

Na Figura 4.8 é apresentado um gráfico com a variação do valor de Uw com o aumento do valor de Ug para o Estudo 2 - Caixilharia OTIIMA 54 sem reforço- e para o Estudo 4 - Caixilharia OTIIMA 54 com reforço.

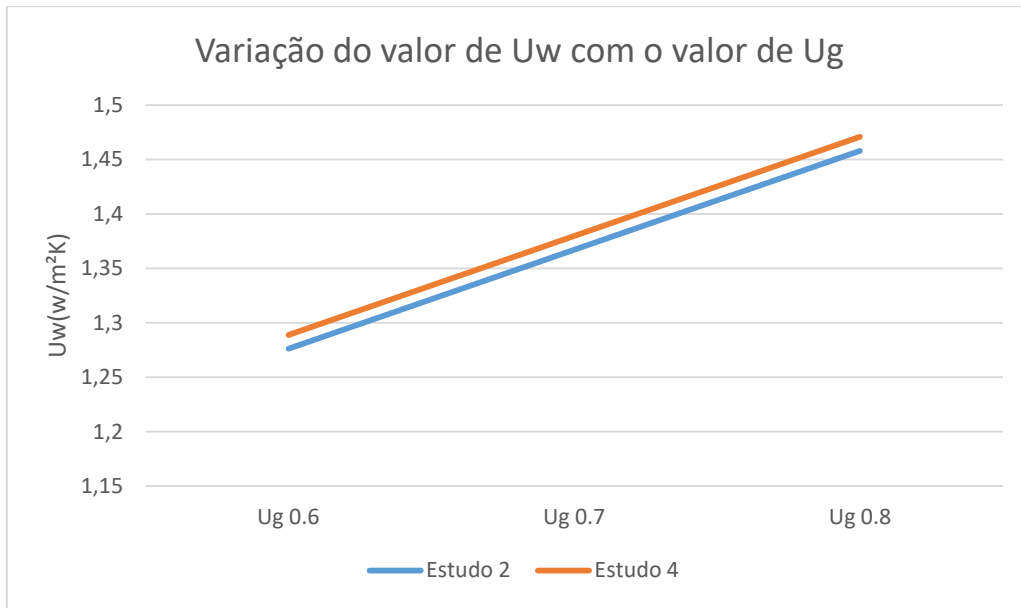


Figura 4.8- Variação do valor de Uw com o valor de Ug

Na Figura 4.9 é apresentado um gráfico com a relação entre o Estudo 1 - Caixilharia OTIIMA 38 sem Reforço- e o Estudo 3 - Caixilharia OTIIMA 38 com Reforço-.

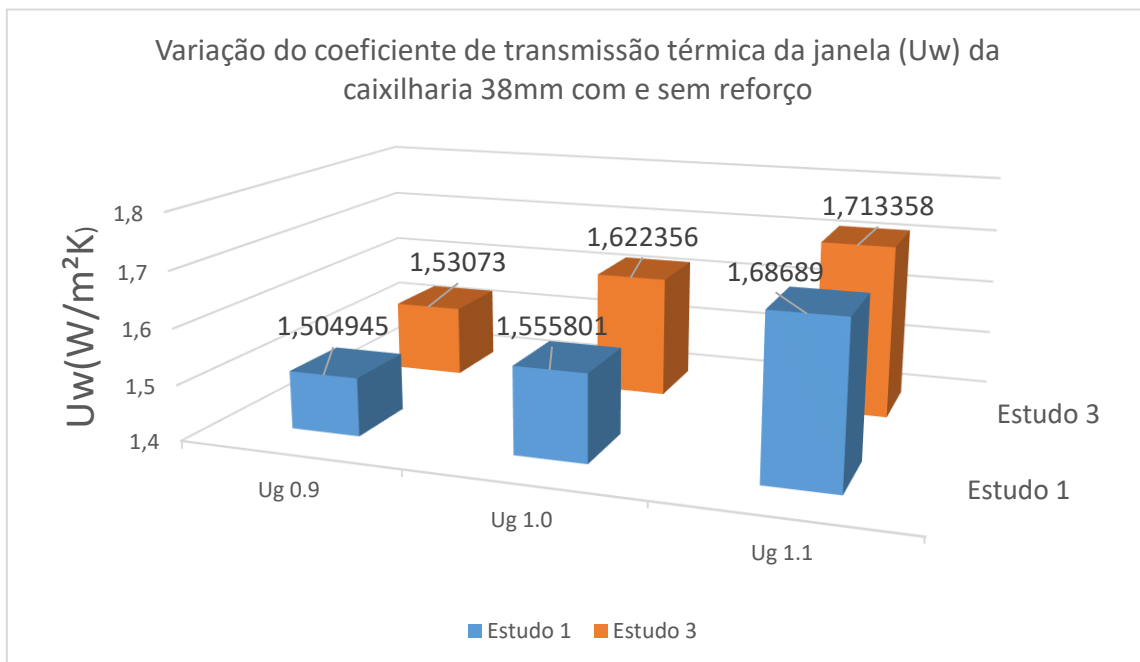


Figura 4.9- Variação Uw com utilização da caixilharia 38 mm com e sem reforço

Na Figura 4.10 é apresentado um gráfico com a relação entre o Estudo 2 - Caixilharia OTIIMA 54 sem Reforço- e o Estudo 4 - Caixilharia OTIIMA 54 com Reforço-.

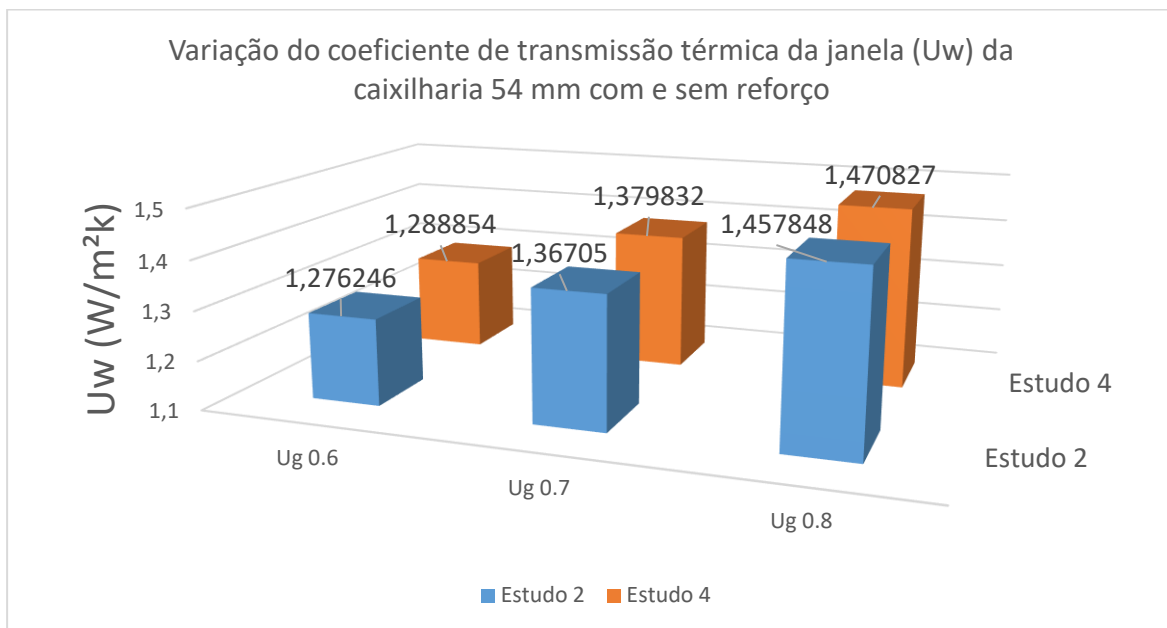


Figura 4.10- Variação de U_w com utilização da caixilharia 54 mm com e sem reforço

Na Figura 4.11 é apresentado um gráfico com a relação entre o Estudo 4 -Caixilharia OTIIMA 54 com Reforço- e o Estudo 5 -Caixilharia OTIIMA 54 com Reforço, Espuma e PVC-.

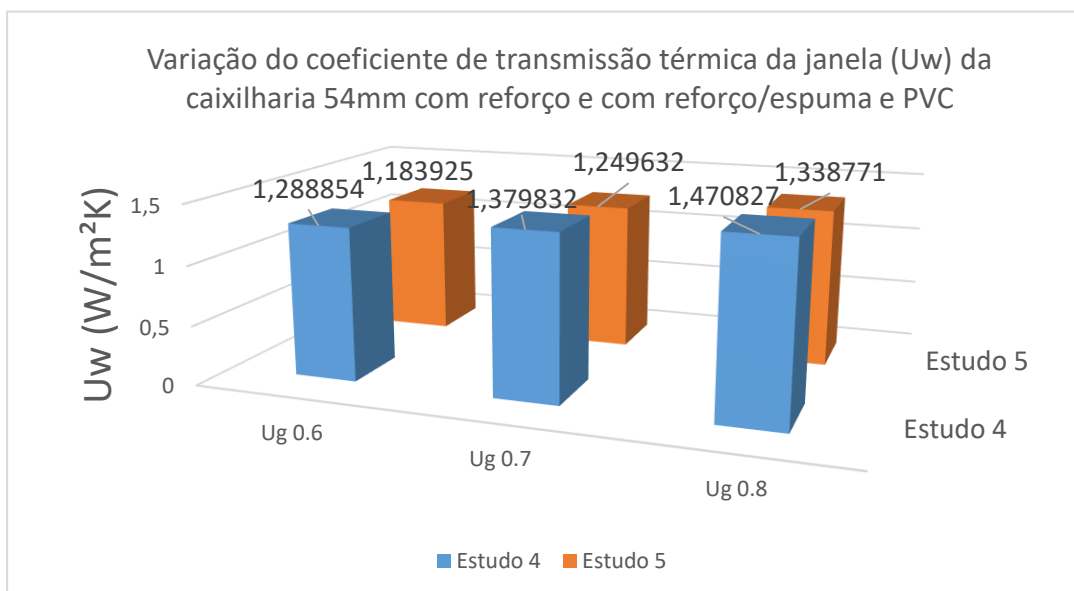


Figura 4.11- Variação de U_w com utilização da caixilharia 54 mm com reforço e com reforço/espuma e PVC

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório refere-se ao estágio curricular, desenvolvido em ambiente empresarial na Ecosteel localizada na Póvoa de Varzim. A Ecosteel é uma empresa especializada no fabrico de portas, janelas e outros elementos em metal e detentora da marca de caixilharia OTIIMA.

As atividades desenvolvidas no estágio consistiram no estudo do comportamento térmico do sistema de janela OTIIMA.

Neste relatório consta a descrição da empresa onde decorreu o estágio e da caixilharia OTIIMA.

Foi apresentado um exemplo do método de cálculo do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) através do programa de cálculo Frame Simulator e Frame Composer e foram referidas as normas europeias que o programa de cálculo utiliza para proceder à obtenção do coeficiente de transmissão térmica das janelas (U_w).

Constatou-se que os valores presentes nas tabelas do ITE50 não possuem os coeficientes de transmissão térmica para todos os sistemas de vãos envidraçados disponíveis no mercado e que a quantificação do coeficiente de transmissão térmica por meio de um programa de cálculo permite obter o coeficiente de transmissão térmica para diversos tipos de vãos tornando o processo mais fácil e rápido.

Procedeu-se à aplicação do método de cálculo através do projeto mais relevante -Edifício Dom Pedro. Efetuaram-se para este projeto cinco estudos, no primeiro estudo é estudada a caixilharia PLUS 38 mm sem reforço, no segundo estudo é estudada a caixilharia PLUS 54mm sem reforço, no terceiro estudo é estudada a caixilharia PLUS 38 mm com reforço, no quarto estudo é estudada a caixilharia PLUS 54mm com reforço e no quinto estudo é estudada a caixilharia PLUS 54 mm com reforço e introdução de espumas e PVC.

Através destes estudos foi possível estabelecer conclusões acerca do comportamento do coeficiente de transmissão térmica das janelas (U_w) na presença de diferentes materiais, nomeadamente alumínio e PVC e atendendo ainda às variações do coeficiente de transmissão térmico do vidro (U_g).

5.1 CONCLUSÕES

Através dos diversos estudos é possível constatar que o sistema de janelas OTIIMA apresenta valores mais baixos para o coeficiente de transmissão térmica aos das janelas correntes no mercado. Em todos os estudos verificou-se um valor do coeficiente de transmissão térmica das janelas inferior a $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ sendo que este valor foi um requisito por parte da equipa projetista. Tal deve-se ao facto destas janelas possuírem um elevado corte térmico, realizado por meio de poliamidas de elevada eficiência.

Após a realização do estudo do comportamento térmico do sistema de janela OTIIMA pode concluir-se que:

- Quando o coeficiente de transmissão térmica da caixilharia (U_f) é maior que o coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) para uma maior área de vidro, menor será o coeficiente de transmissão do sistema de janela OTIIMA.

- Quanto menor o coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g) menor o coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w). No entanto o valor monetário dos vidros com baixo coeficiente de transmissão térmica (U_g) é mais elevado do que os que possuem um coeficiente de transmissão térmico elevado. Para o vidro possuir um baixo coeficiente de transmissão térmica (U_g) possui um tratamento especial, através da adição de capas especiais com tratamentos que permitem ao vidro tornar-se baixo emissivo (low-e) e por vezes este facto influencia a escolha do cliente rejeitando a parte térmica e preferindo a parte económica.

- A introdução do reforço, por questões de segurança estrutural, traduz-se num aumento do coeficiente de transmissão térmica na ordem dos 5%. Este facto é explicado pela maior expressão de alumínio que constitui a janela pois o alumínio é um material com elevada condutibilidade térmica. No entanto as questões de segurança ao vento sobrepõem-se às questões térmicas e não era possível realizar a obra sem o reforço nos perfis.

- Quando foram adicionadas espumas aos nós, observou-se uma diminuição do coeficiente de transmissão térmica das janelas, na ordem dos 10%. Este valor não é muito elevado mas é necessário ter em conta que foram apenas dois os nós alterados e estes nós não estão presentes em todas as tipologias de janela. Caso se altere um maior número de nós e se proceda a uma introdução mais elevada de espumas o valor diminuiria de uma forma mais expressiva no entanto a introdução exagerada de espumas pode comprometer a ventilação da caixilharia, dado que a caixilharia não pode ser um elemento onde não há nenhuma entrada de ar, de forma a não ocorrerem condensações.

- A alteração da capa central de alumínio pela capa de PVC conduziu a uma diminuição do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w), pois o alumínio é melhor condutor térmico que o PVC e a sua utilização na capa central conduz a um aumento do coeficiente de transmissão térmico da janela (U_w).

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tendo em conta a duração do estágio, não foi possível desenvolver alguns trabalhos que poderiam enriquecer este estudo. Deste modo, sugerem-se o desenvolvimento dos seguintes trabalhos futuros:

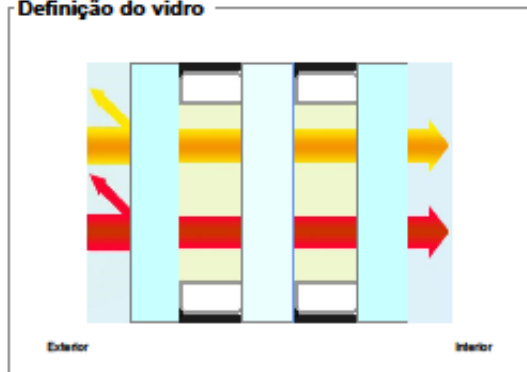
- O estudo dos restantes sistemas OTIIMA, nomeadamente Drain e Open de modo a poderem ser feitas melhorias a nível térmico;
- O estudo aprofundado do sistema Comfort que apesar de já apresentar boas características térmicas ainda pode ser melhorado;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agrela, A., Quantificação do coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados – Validação do modelo de cálculo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [2] <http://www.filipechaves.com/Gestinova/Caixilharia.pdf> [Consultado em 12/05/17]
- [3] <http://www.hiperjanelas.pt/produtos2.php?fam=100&fam2=101&fam3> [Consultado em 22/06/17]
- [4] Mendes, V., Quantificação do coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados – Modelo de cálculo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [5] <https://www.finstral.com/> [Consultado em 26/06/17]
- [6] <http://www.rocae.pt/pt/produtos/caixilharia-em-aluminio> [Consultado em 29/06/17]
- [7] [Ecosteel.pt](http://www.ecosteel.pt) [Consultado em 12/07/17]
- [8] <http://www.3dfuel.com/> [Consultado em 13/07/17]
- [9] <http://www.ajc-ferreira.com/pt/janelas-pvc> [Consultado em 12/06/17] [Consultado em 22/07/17]
- [10] <http://otiima.pt/> [Consultado em 26/07/17]
- [11] Catálogo OTIIMA 2017
- [12] Santos, C., Matias, L., Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, LNEC, Informação Técnica Edifícios, ITE50, Lisboa, 2008.
- [13] ISO/DIS 10077-1 – Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General
- [14] alufene.com/caixilharia_valor [Consultado em 23/07/17]
- [15] ISO/DIS 10077-2 – Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames
- [16] <http://www.cm-cascais.pt/noticia/apresentacao-de-propostas-edificio-dom-pedro-i-ocupar-terreno-do-antigo-hotel-nau> [Consultado em 6/06/17]

ANEXO I- FICHA CALLUMEN- SAINT GOBAIN (VIDRO UG=0.9 W/m²K)

Definição do vidro



	Primeiro vidro	Segundo vidro	Terceiro vidro
Gás		Krypton 90% 12,00mm	Argon 90% 12,00mm
Capa			
Primeiro vidro	PLANILUX 10,00mm	PLANICLEAR 10,00mm	PLANILUX 10,00mm
Capa		PLANITHERM ONE II	
Intercalar			
Capa			
Segundo vidro			
Capa			

Dimensões de fabrico

Espessura nominal : 54,0 mm
Peso : 75,0 kg/m²

Factores luminosos (EN410-2011) : (D65 2°)

Transmitância : 61 %
Reflectância exterior : 25 %
Reflectância Interior : 25 %

Factores energéticos (EN410-2011) :

Transmitância : 34 %
Reflectância exterior : 27 %
Reflectância Interior : 31 %
Absorção A1 : 22 %
Absorção A2 : 12 %
Absorção A3 : 5 %

Factores solares (EN410-2011) :

g : 0,42
Coeficiente de sombreamento : 0,49

Transmissão térmica (EN673-2011) - 0° Em relação á posição vertical

Ug : 0,9 W/(m².K)



Ana Amaral
Ecosteel
Desenvolvimento
Rua de Manuel Dias
4495-129

Póvoa de Varzim

Telefone :
Telemóvel :
Fax :
info@ecosteel.pt

252 095 008
252 095 008
252 095 008

Calumen II é um software de simulação de cálculo das características do vidro tais como transmissão luminosa, factor solar ou coeficiente de transmissão térmica. Os valores são calculados a título indicativo e sujeitos a alterações, não sendo garantia de performance dos produtos.

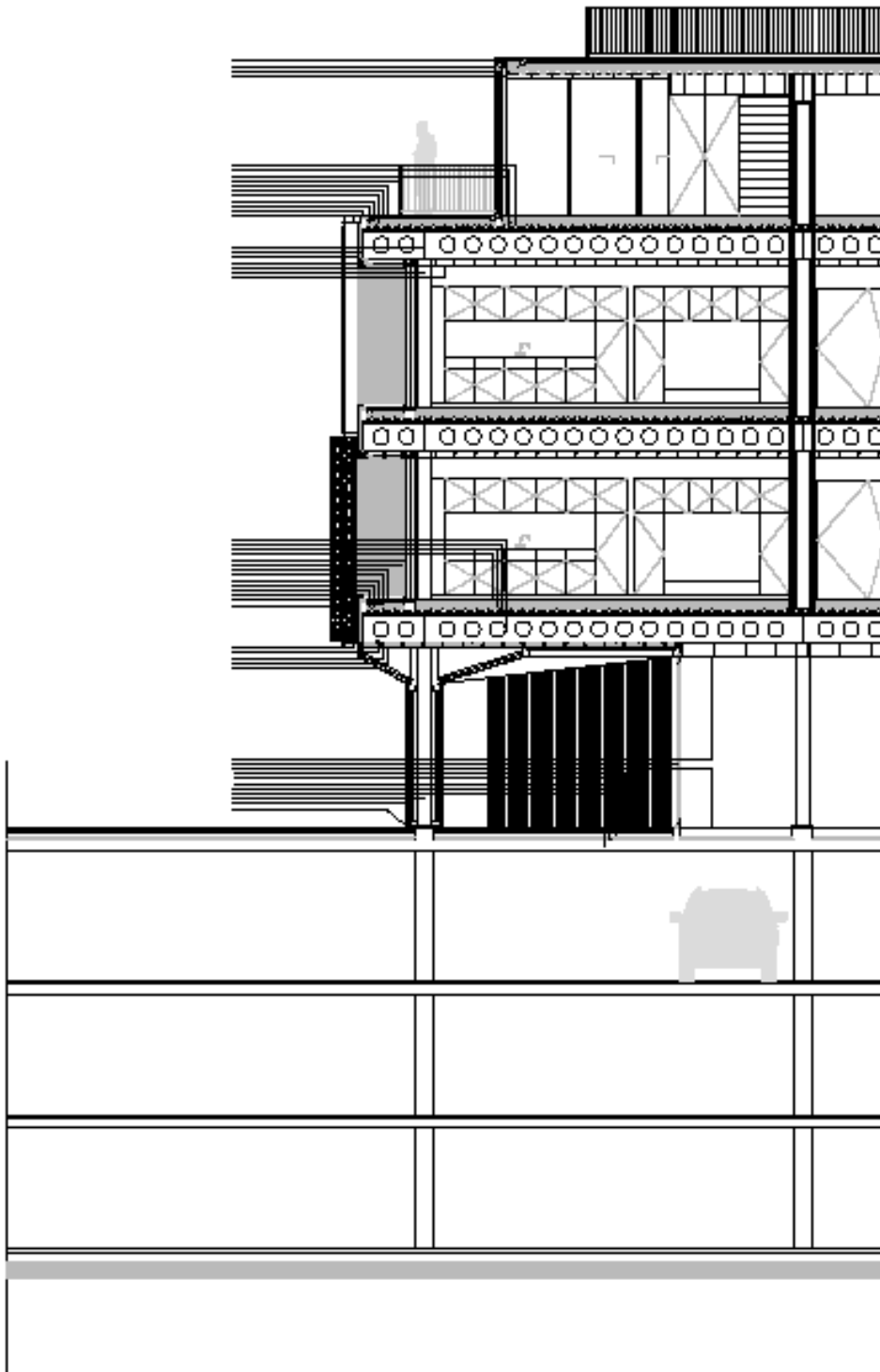
Estes valores são calculados de acordo com as normas EN410-2011 e EN673-2011. As tolerâncias estão definidas de acordo com normas EN 1096-4 ou ISO9000-2003. Contudo, o utilizador deverá verificar a viabilidade dos produtos associados, em particular nas espessuras e cores.
Para além disso, é sua responsabilidade a verificação da composição de vidro resultante quanto aos requisitos de regulamentação a nível nacional, local ou regional.
Computed values with NFRC-2010 standards are indicative. Please use NFRC certified software for certified values.
User must check the feasibility of the associated products, in particular in terms of thickness and color.

Furthermore, it is his responsibility to check that the resulting combination of glazing meets regulatory requirements at national, local or regional level.

As regras de cálculo e funções dos resultados do Calumen II foram validadas pelo TÜV Rheinland Quality / TNO quality - Relatório 11923R-11-03705

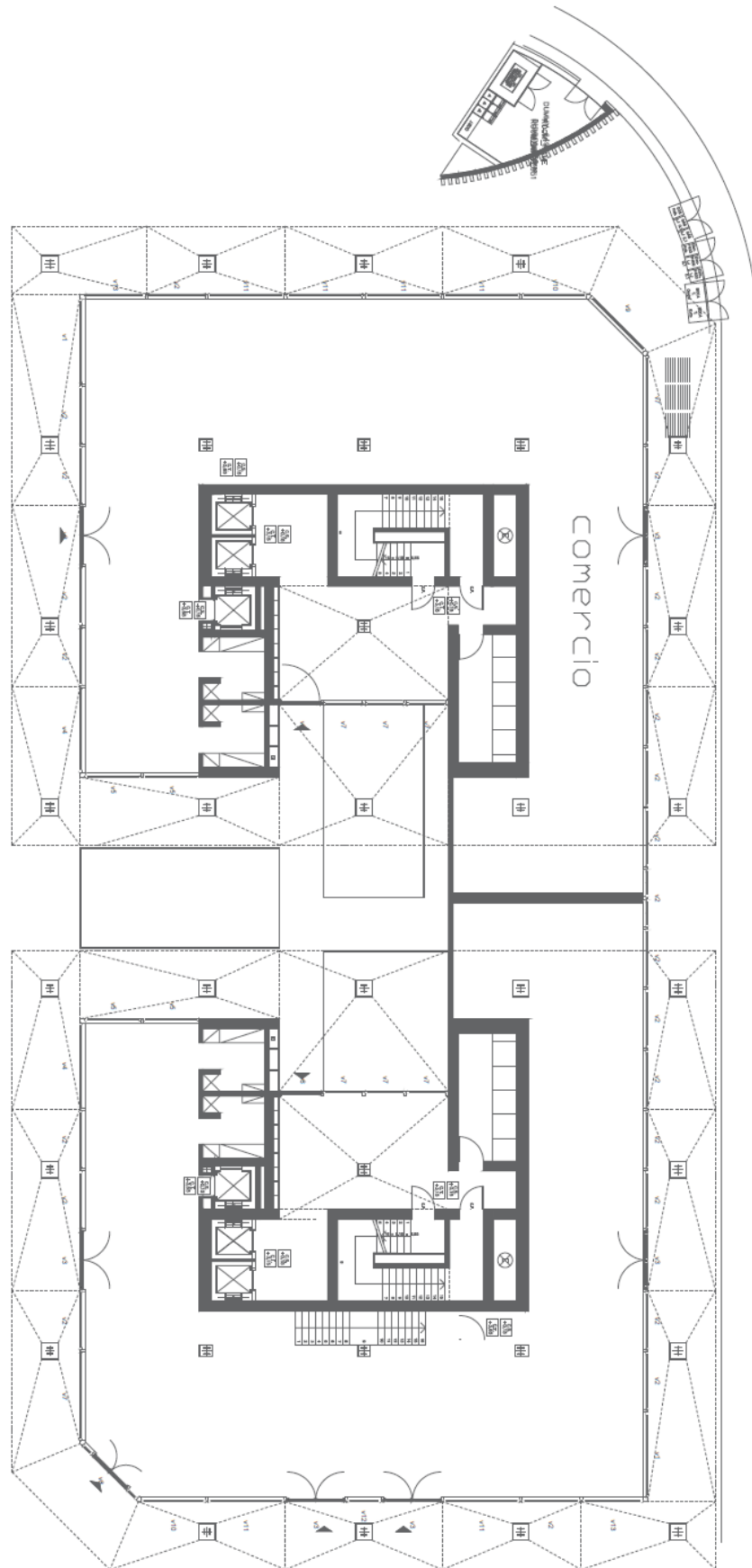


ANEXO II- CORTE EDIFÍCIO DOM PEDRO

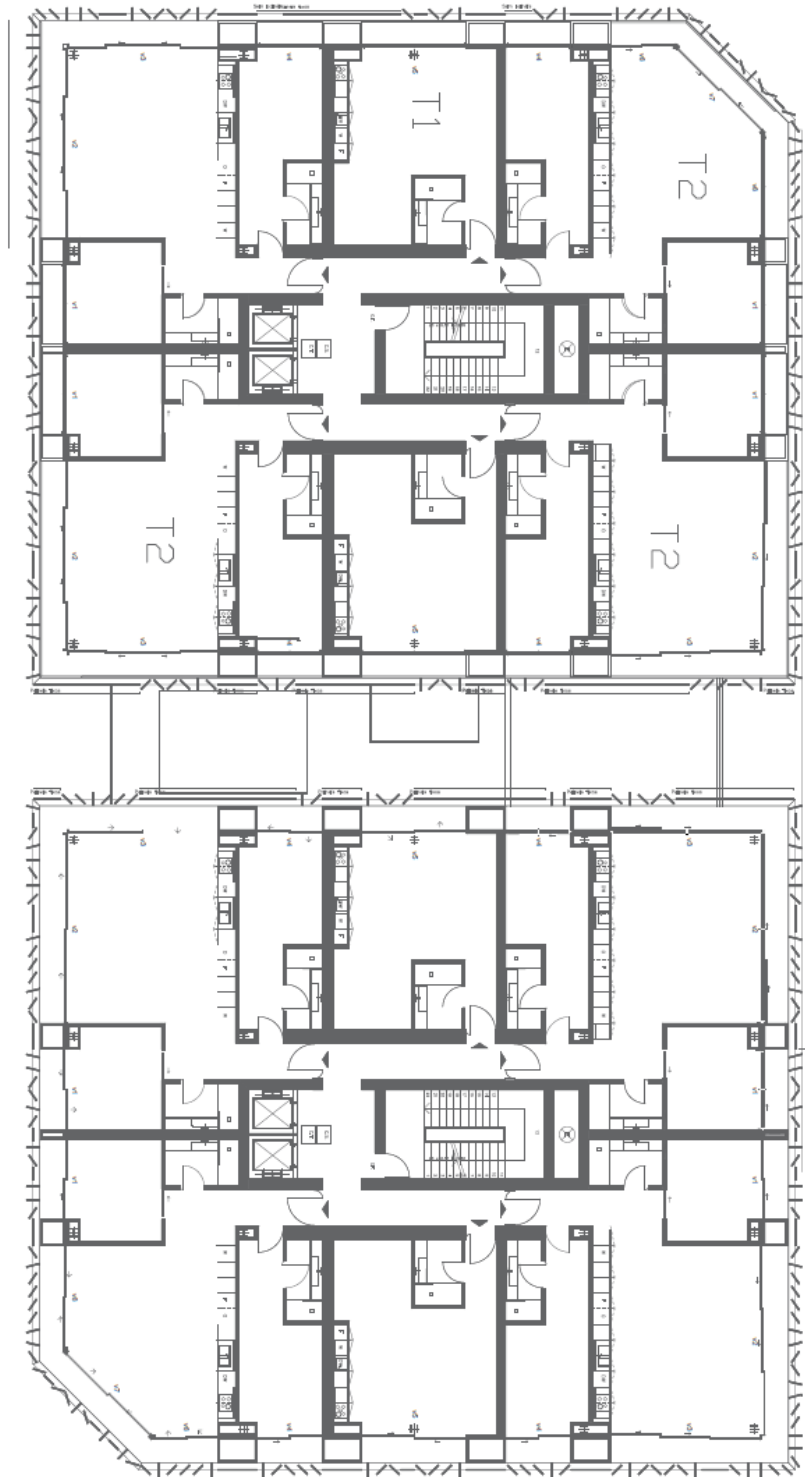


Corte (não está à escala)

ANEXO III- PLANTAS ORIGINAIS



PLANTA R/C (não está à escala)

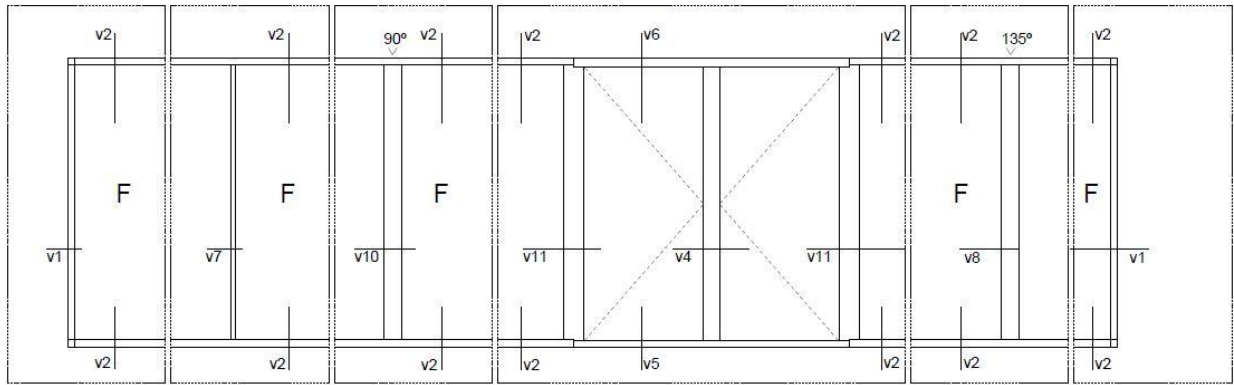


PLANTA 1ºe2º Piso (não está à escala)

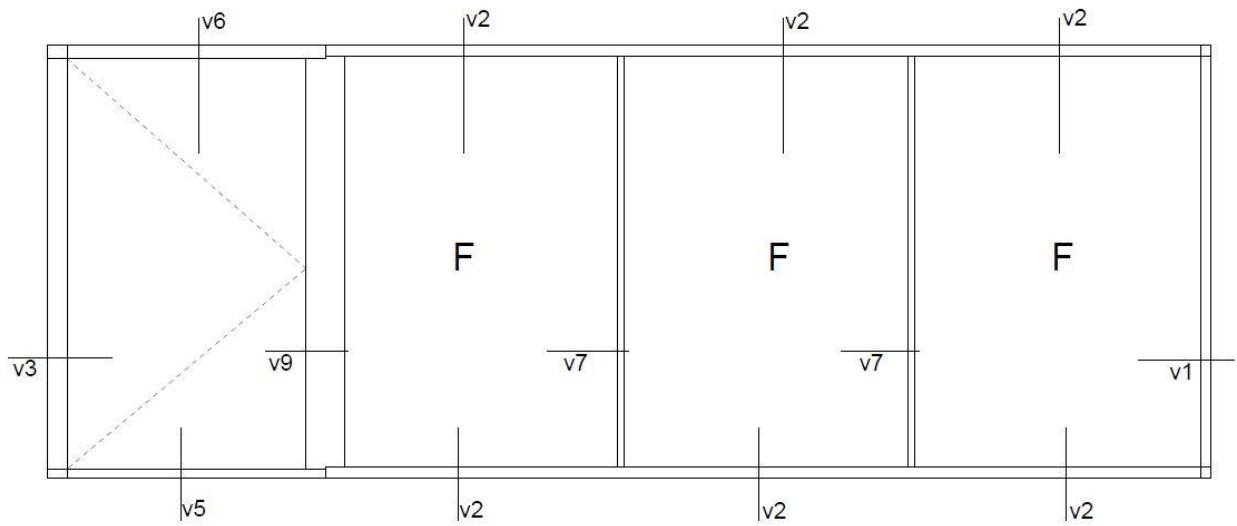


PLANTA 3º Piso (não está à escala)

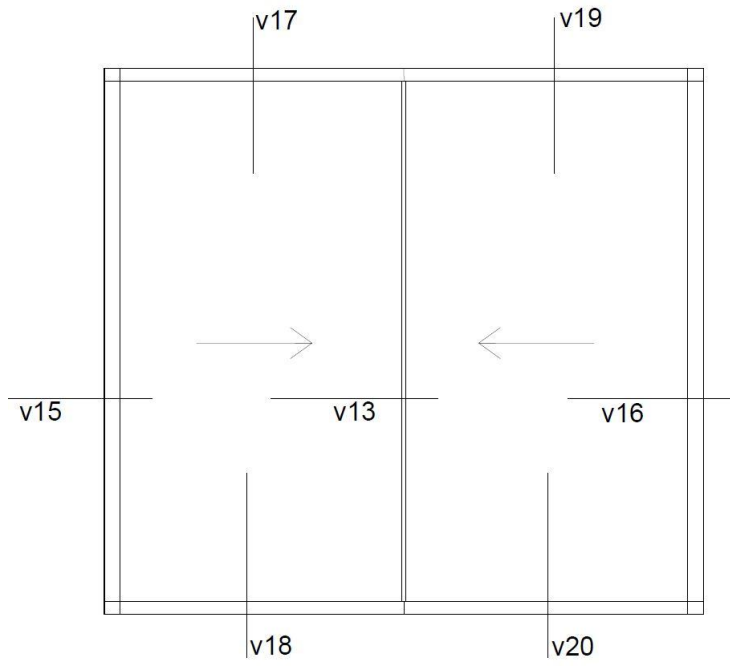
**ANEXO IV- REPRESENTAÇÃO EM ALÇADO DAS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE
VÃOS ENVIDRAÇADOS**



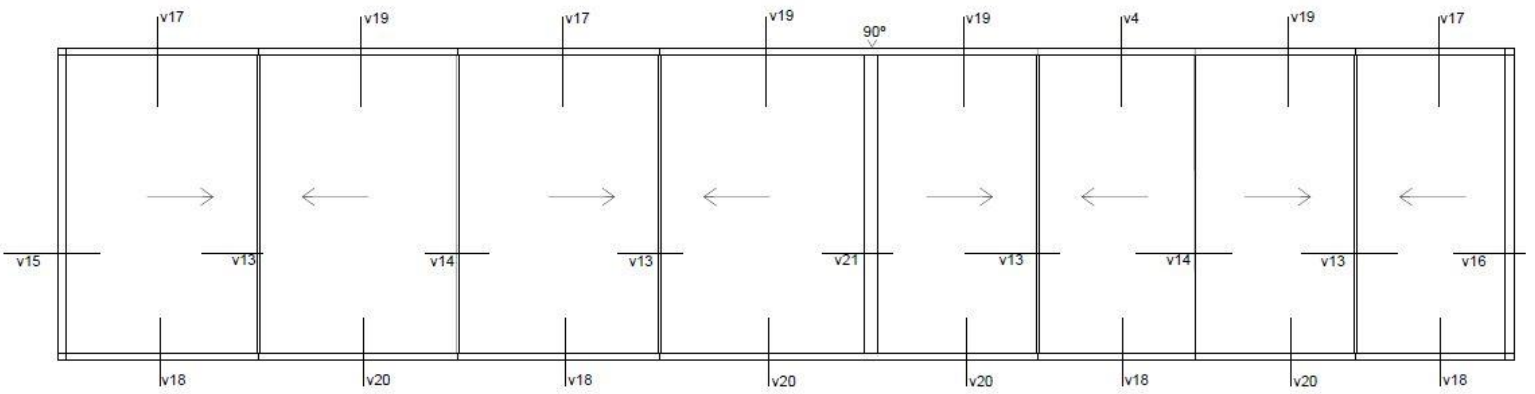
Representação interrompida de J1



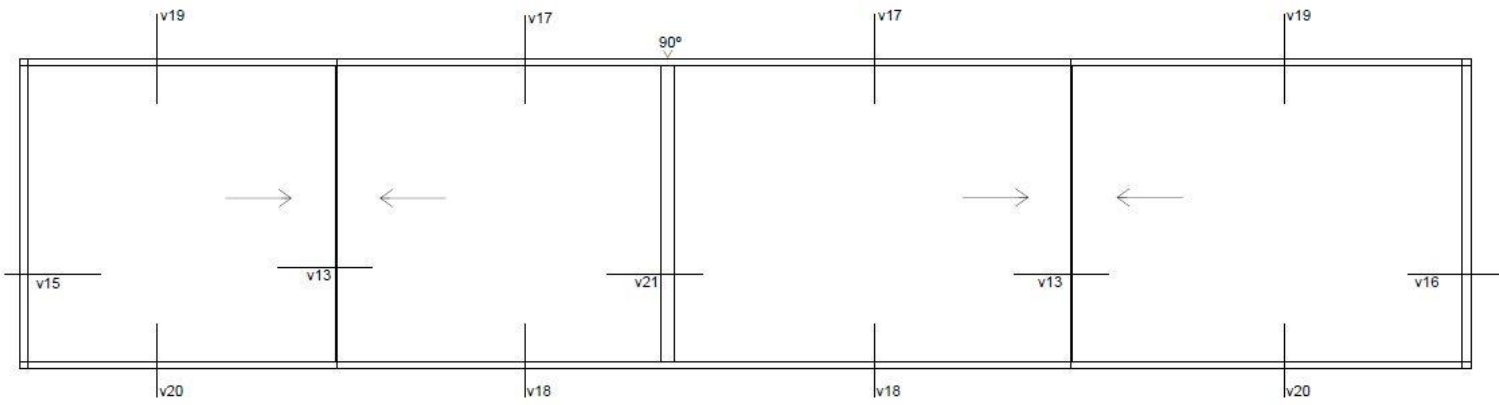
Representação de J2



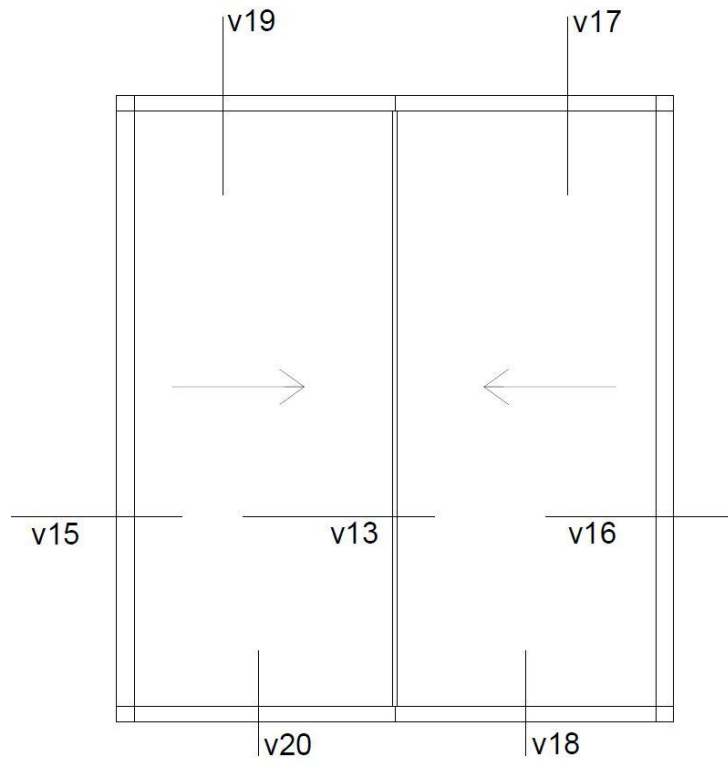
Representação de J3



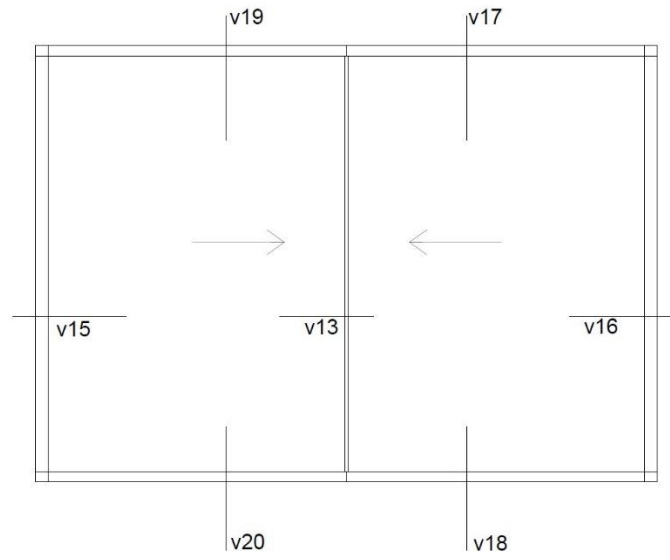
Representação de J4



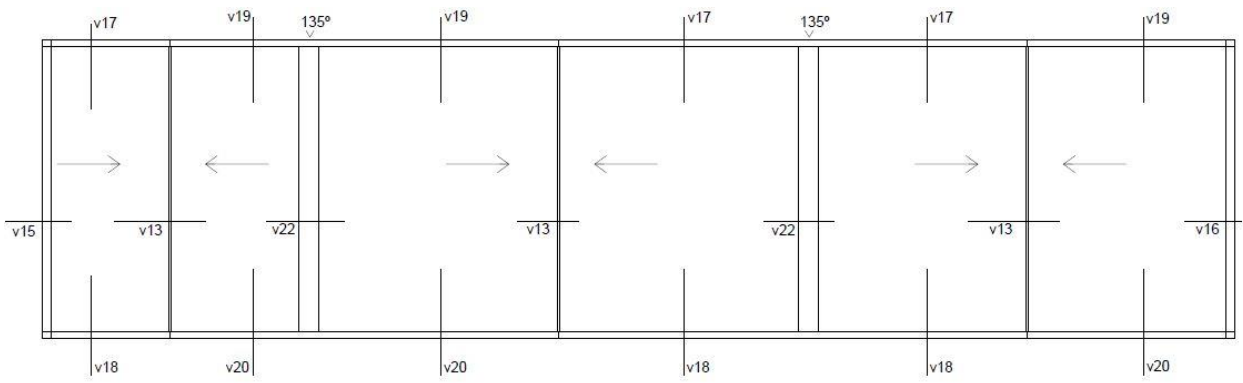
Representação de J5



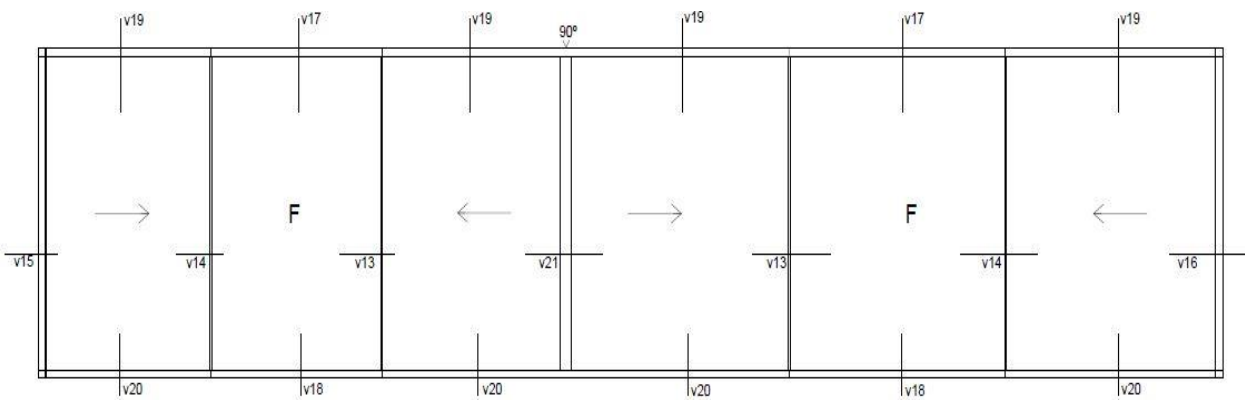
Representação de J6



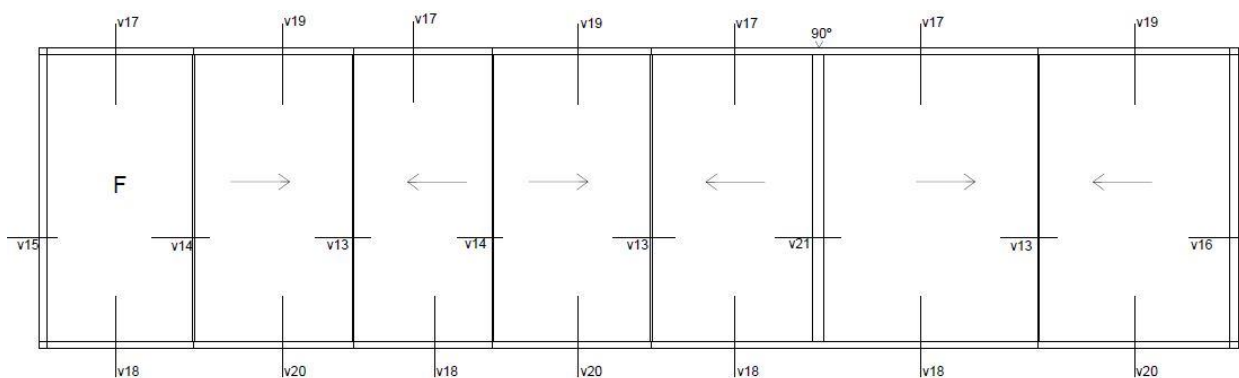
Representação de J7



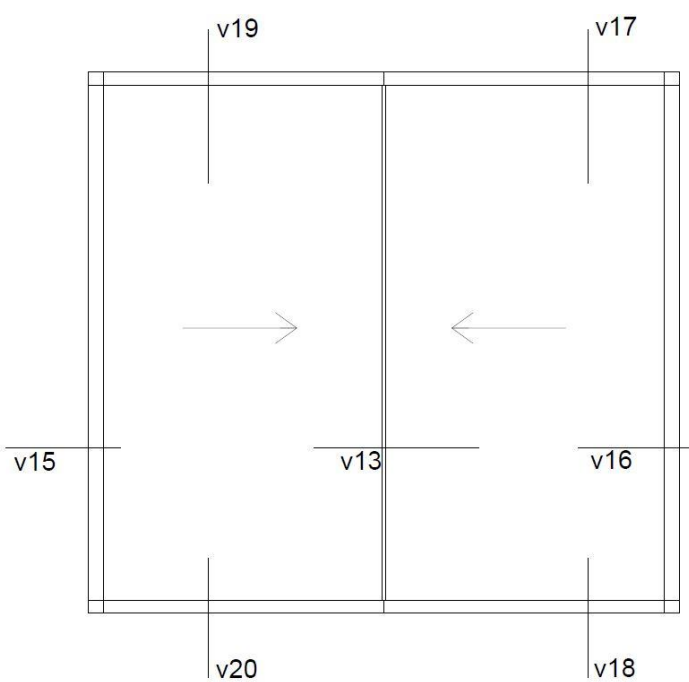
Representação de J8



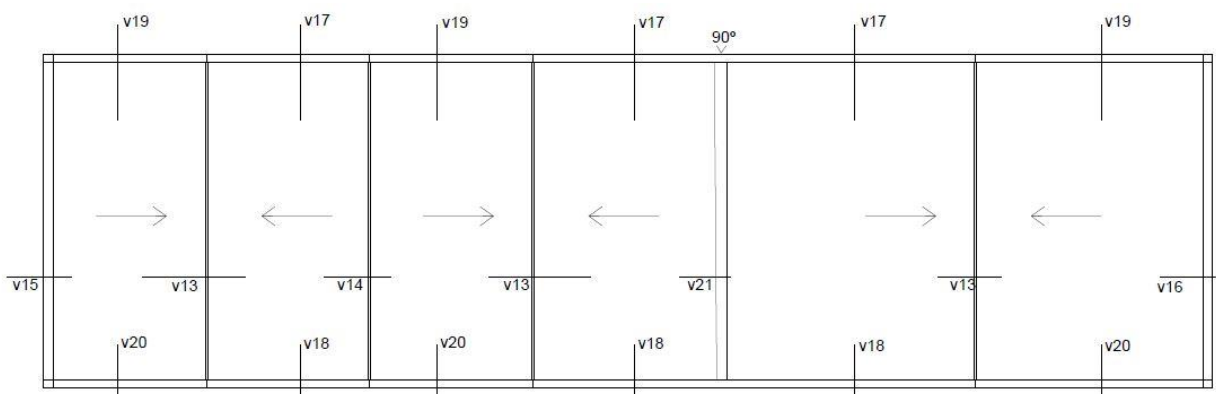
Representação de J9



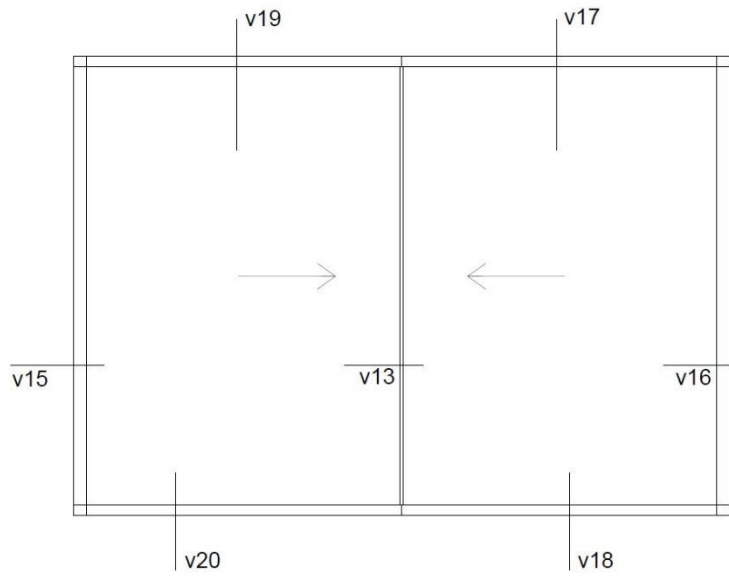
Representação de J10



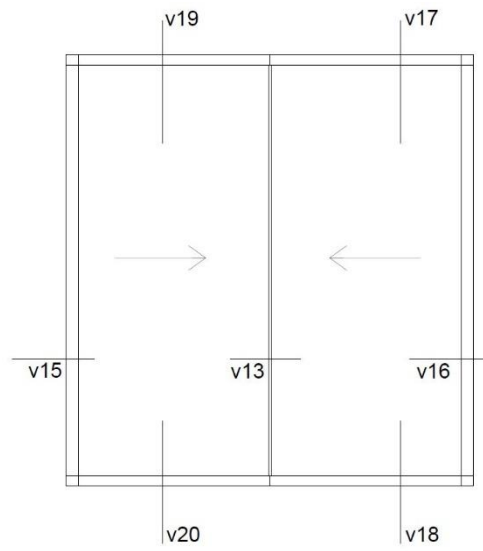
Representação de J11



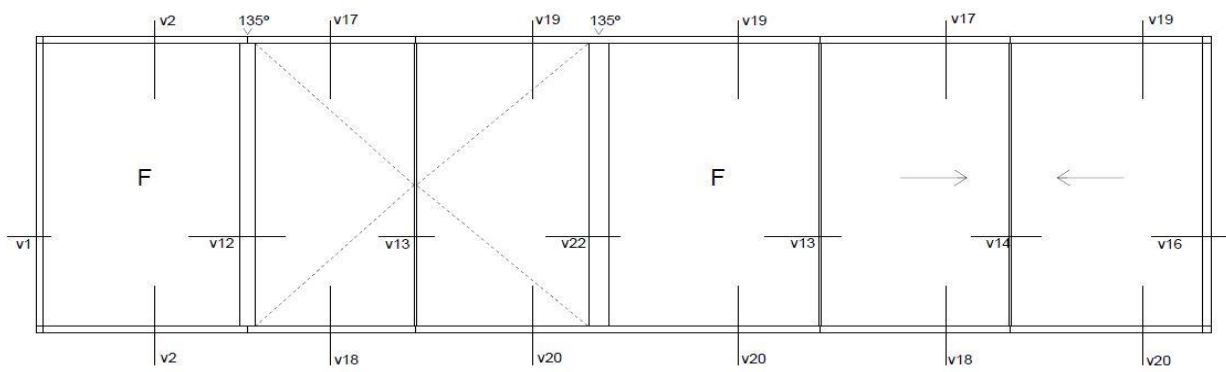
Representação de J12



Representação de J13





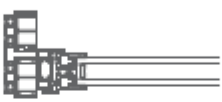



Representação de J14

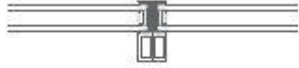



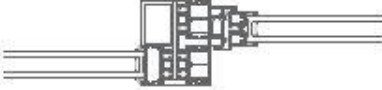


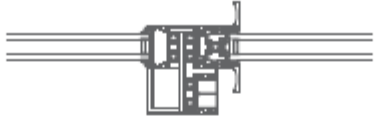


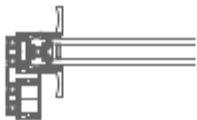
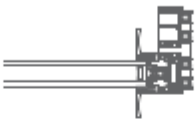

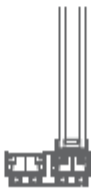
Representação de J15





ANEXO V- REPRESENTAÇÃO DOS NÓS

- Representação dos nós da caixilharia 38 mm

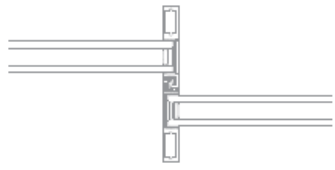
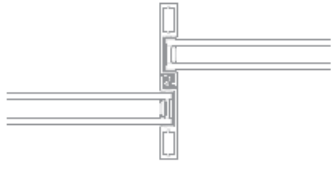
v1		Ψ - 0.0333
		UF - 4.4727
v2		Ψ - 0.0318
		UF - 5.0887
v3		Ψ - 0.0205
		UF - 3.9160
v4		Ψ - 0.0966
		UF - 4.1461
v5		Ψ - 0.0297
		UF - 3.4617
v6		Ψ - 0.0190
		UF - 4.0797

v7		Ψ - 0.0425
		UF - 11.8102
v8		Ψ - 0.0718
		UF - 5.2608
v9		Ψ - 0.1221
		UF - 5.1386
v10		Ψ - 0.0762
		UF - 5.8141
v11		Ψ - 0.0453
		UF - 5.3995


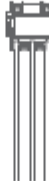
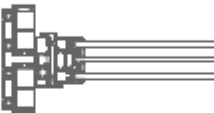
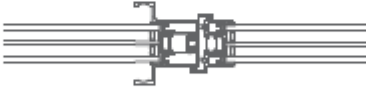
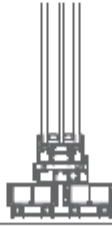
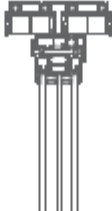
v12		Ψ - 0.0301
		UF - 8.4772
v13		Ψ - 0.0731
		UF - 17.6486
v14		Ψ - 0.0607
		UF - 9.2991
v15		Ψ - 0.0889
		UF - 7.7959
v16		Ψ - 0.0099
		UF - 7.0346
v17		Ψ - 0.0320
		UF - 5.7544
v18		Ψ - 0.0310
		UF - 4.9550

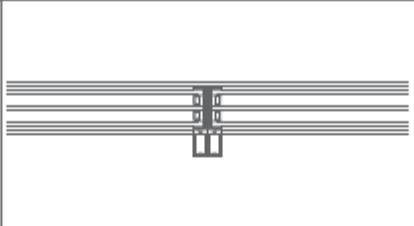
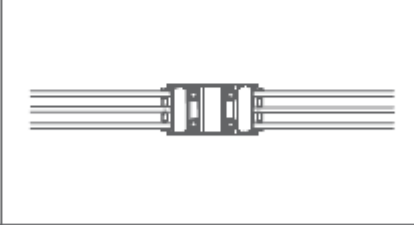
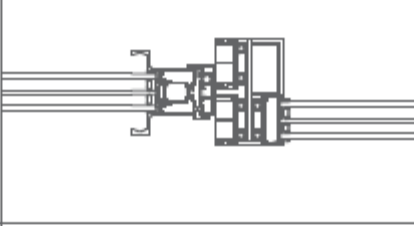
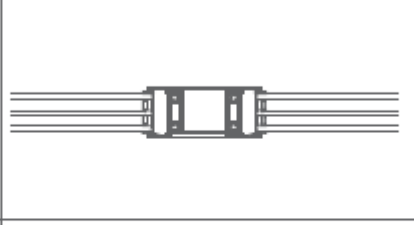
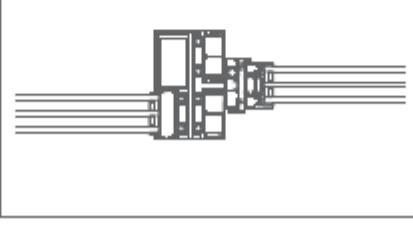
v19		$\Psi - 0.0330$
		UF - 4.9532
v20		$\Psi - 0.0327$
		UF - 4.9550
v21		$\Psi - 0.0554$
		UF - 8.4710
v22		$\Psi - 0.0125$
		UF - 8.2875

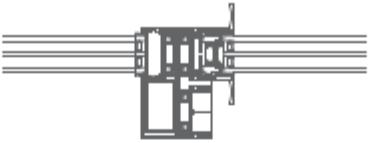


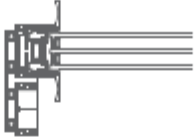
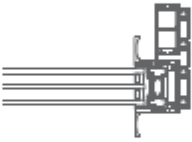
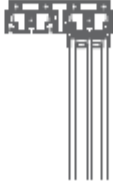
- Representação dos nós da caixilharia 38 mm com reforço


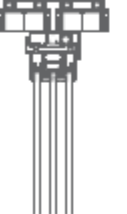

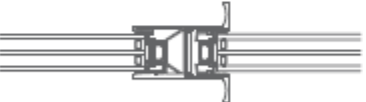

v13*		$\Psi - 0.0798$
		UF - 24.0153
v14*		$\Psi - 0.0607$
		UF - 29.6356

- Representação dos nós da caixilharia 54 mm

v1		Ψ - 0.0613
		UF - 4.7089
v2		Ψ - 0.0594
		UF - 5.3786
v3		Ψ - 0.0311
		UF - 3.8566
v4		Ψ - 0.1114
		UF - 3.0609
v5		Ψ - 0.0306
		UF - 3.6779
v6		Ψ - 0.0307
		UF - 3.9935

v7		Ψ - 0.0866
		UF - 11.7159
v8		Ψ - 0.1236
		UF - 5.4659
v9		Ψ - 0.1266
		UF - 5.3111
v10		Ψ - 0.1305
		UF - 5.6561
v11		Ψ - 0.0843
		UF - 6.4258

v12		$\Psi - 0.1072$
		UF - 10.0990
v13		$\Psi - 0.1366$
		UF - 20.4426
v14		$\Psi - 0.1283$
		UF - 10.6773
v15		$\Psi - 0.0225$
		UF - 5.442
v16		$\Psi - 0.0259$
		UF - 5.2768
v17		$\Psi - 0.0593$
		UF - 5.5430

v18		Ψ - 0.0591
		UF - 5.0861
v19		Ψ - 0.0596
		UF - 5.0361
v20		Ψ - 0.0592
		UF - 5.0283
v21		Ψ - 0.0751
		UF - 6.4196
v22		Ψ - 0.0443
		UF - 6.3662

- Representação dos nós da caixilharia 54mm com Reforço

V13*		Ψ - 0.1427
		UF - 26.3588
V14*		Ψ - 0.1339
		UF - 31.1586

ANEXO VI- ANÁLISE AO VENTO

**Edifício Dom Pedro
Cascais**


**Vidros para caixilharia
Sistema OTIIMA**

ECOSTEEL

Memória Justificativa

Abril 2017

Portugal

	NOTA TÉCNICA
---	--------------

Índice

1 – Considerações Gerais

2 – Memória Justificativa

2.1 – Vidros Apartamentos

2.1.1 – Vidro Isolante Duplo

2.1.2 – Vidro Isolante Triplo

2.2 – Vidros Comércio

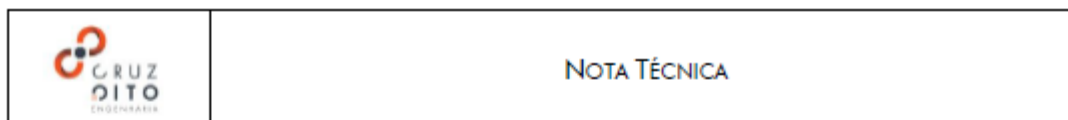
2.2.1 – Vidro Isolante Duplo

2.2.1.1 – Opção Temperado + Temperado

2.2.1.2 – Opção Temperado + Laminado Temperado

2.2.2 – Vidro Isolante Triplo

3 - Comentários



1 - Considerações Gerais

O presente documento tem como objetivo justificar o vidro isolante a colocar no sistema de caixilharia OTIMA no edifício Dom Pedro, localizado em Cascais. Foram estudadas soluções para vidro isolante duplo e isolante triplo.

2 – Memória Justificativa

Dada a localização, tipologia e dimensões do edifício foi considerado uma carga de ventos 1.25 kN/m^2 para os níveis superiores (apartamentos) e 1.08 kN/m^2 para o nível t ero (com ercio). Para qualquer um dos casos foi analisado o vidro com maior dimensão (caso mais desfavorável). Foi considerado o Regulamento de Segurança e A oes para Estruturas de Edifícios e Pontes para a determina o dos valores das cargas atuantes.

Neste estudo foi realizado uma análise às deformadas em estado limite de serviço (ELS) e às tensões em estado limite último (ELU) com um coeficiente de 1.50.

Para valida o dos resultados foi tido em conta a norma DIN 18008, onde   referido que qualquer um destes vidros não deverá ter uma deformada superior a $L/100\text{mm}$ (lado menor) e que a tensão máxima não exceda os 73.3 MPa para o vidro temperado.

2.1 – Vidro Apartamentos

Dimensão do vidro: $3800 \times 2900 \text{ mm}^2$

2.1.1 – Vidro Isolante Duplo

Composi o: 10mm temperado + Caixa de ar 14 mm + 15mm temperado

Estado de Tensão (ELU):

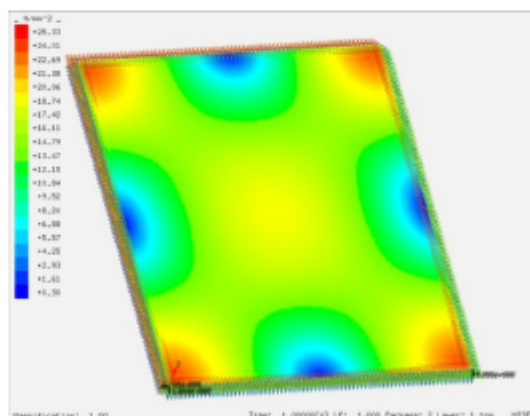


Figura 1 – Estado de Tensões (25.33 MPa)

Deformada (ELS):

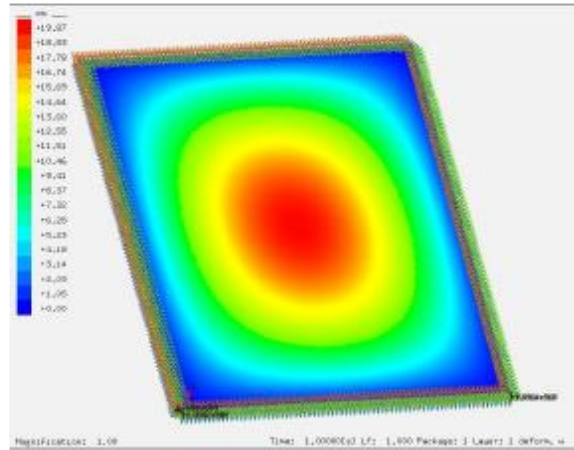


Figura 2 – Deformada (19.87 mm)

2.1.2 – Vidro Isolante Triplo

Composição: 10mm temperado + Caixa de ar 12mm + 10mm temperado + Caixa de ar 12 mm + 10mm temperado

Estado de Tensão (ELU):

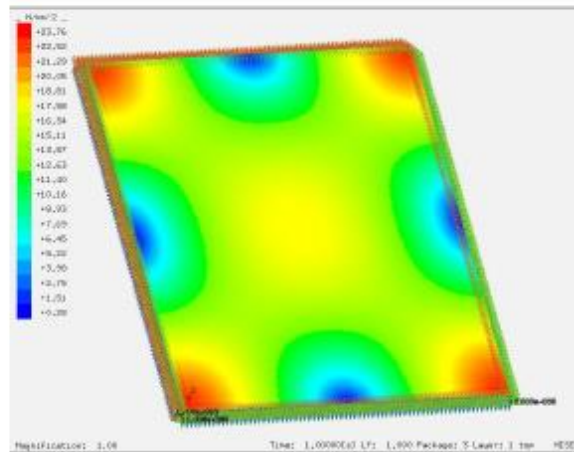
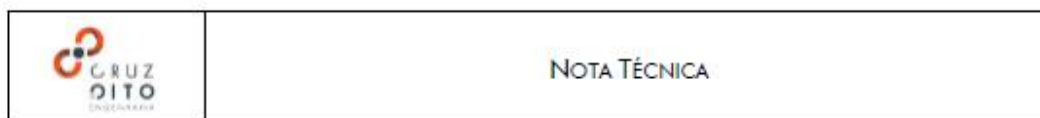


Figura 3 – Estado de Tensões (23.76 MPa)



Deformada (ELS):

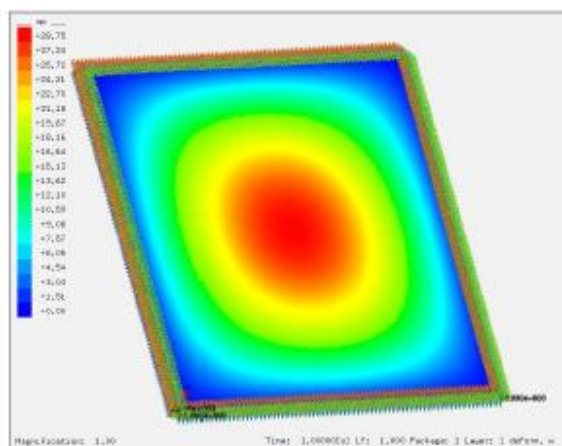


Figura 4 – Deformada (28.75 mm)

2.2 – Vidros Comércio

Dimensão do vidro: 3800 x 2650 mm²

2.2.1 – Vidro Isolante Duplo

2.2.1.1 – Opção Temperado + Temperado

Composição: 10mm temperado + Caixa de ar 16 mm + 12mm temperado

Estado de Tensão (ELU):

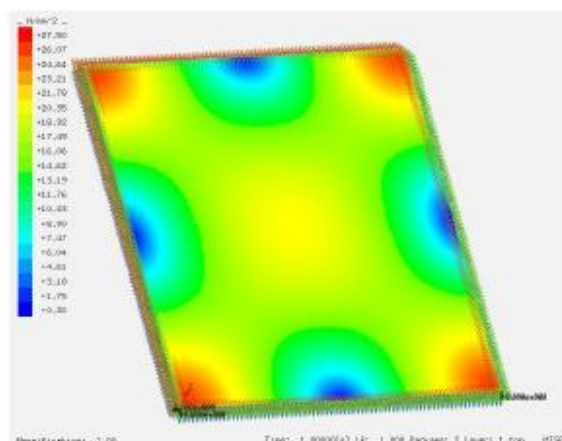


Figura 5 – Estado de Tensões (27.50 MPa)

Deformada (ELS):

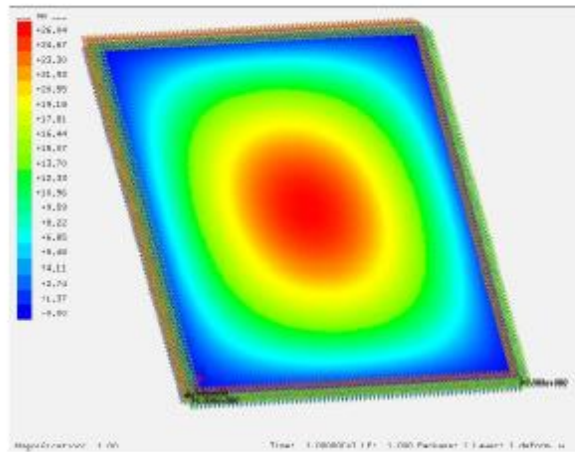


Figura 6 – Deformada (26.04 mm)

2.2.1.2 – Opção Temperado + Laminado Temperado

Composição: 10mm temperado + Caixa de ar 16 mm + Laminado Temperado 6.6/4 PVB

Estado de Tensão (ELU):

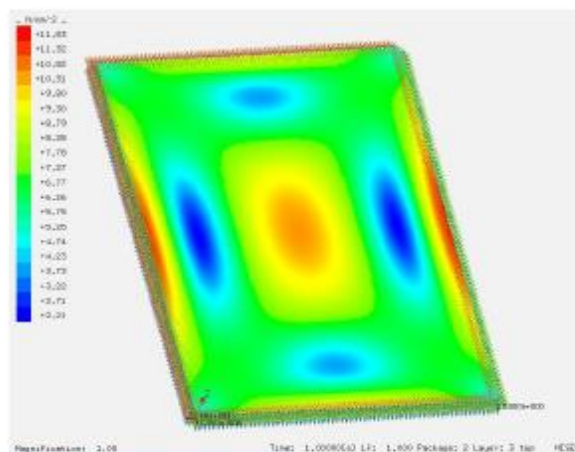
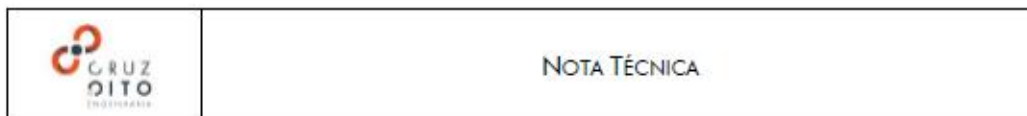


Figura 7 – Estado de Tensões (11.83 MPa)



Deformada (ELS):

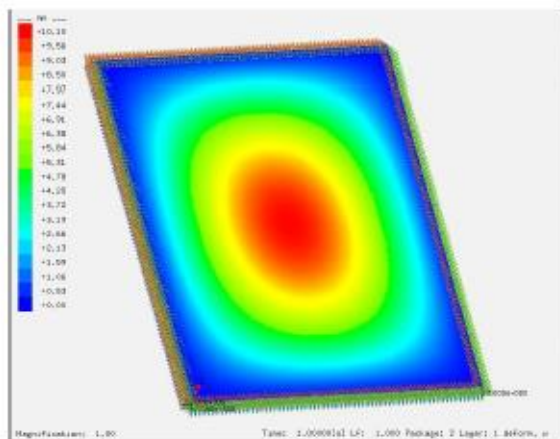


Figura 8 – Deformada (12.46 mm)

2.2.1 – Vidro Isolante Triplo

Composição: 10mm temperado + Caixa de ar 12mm + 8mm temperado + Caixa de ar 12 mm + 10mm temperado

Estado de Tensão (ELU):

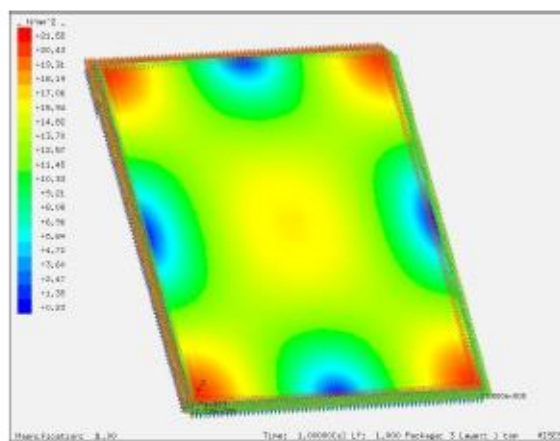
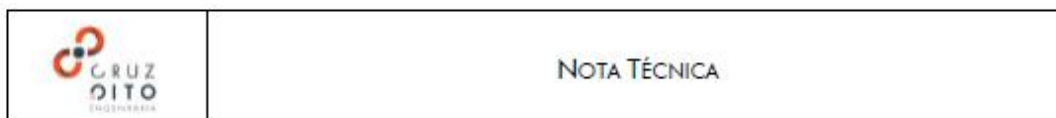


Figura 9 – Estado de Tensões (21.55 MPa)



Deformada (ELS):

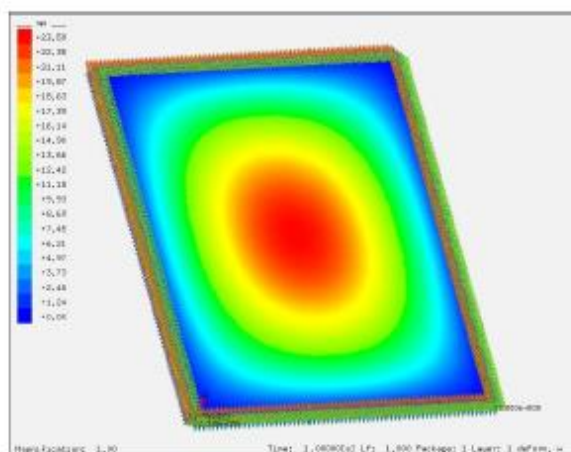


Figura 10 – Deformada (23.59 mm)

3 – Comentários

Através desta análise conclui-se que os vidros prescritos resistem às cargas previstas e respeitam a norma DIN 18008.

Aconselhamos ainda que:

- o vidro temperado que compõem o vidro isolante seja sujeito a HST (Heat Soak Test) minimizando a probabilidade de quebra espontânea do mesmo devido a possíveis incrustações de sulfureto de níquel.

Será de salientar que esta análise é puramente estática sem ter sido observado aspectos importantes, tais como: Efeitos da temperatura nos intercalares; Imperfeições do processo produtivo (microfissuras).

Moisés Borges, Eng.

O presente documento não confere compromisso sobre a montagem ou qualidade dos materiais utilizados.